

Prostorni raspored i gustoća ponikava Parka prirode Biokovo

Trojanović, Mia

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:662464>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-27**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Mia Trojanović

**Prostorni raspored i gustoća ponikava Parka prirode
Biokovo**

Diplomski rad

**Zagreb
2024.**

Mia Trojanović

**Prostorni raspored i gustoća ponikava Parka prirode
Biokovo**

Diplomski rad

predan na ocjenu Geografskom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog zvanja
magistre geografije

**Zagreb
2024.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija*; smjer: *istraživački (Geografski informacijski sustavi)* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Nevena Bočića

Sveučilište u Zagrebu
 Prirodoslovno-matematički fakultet
 Geografski odsjek

Diplomski rad

Prostorni raspored i gustoća ponikava Parka prirode Biokovo

Mia Trojanović

Izvadak: Ponikve su zatvoren udubine u krškom reljefu te su najkarakterističniji oblici u kršu. U radu je analiziran prostorni raspored i gustoća ponikava Parka prirode Biokovo. Podaci o lokacijama ponikava su preuzeti vektORIZACIJOM podataka s topografskih karate VGI 1:25000, a morfometrijski podaci reljefa su dobiveni analizama digitalnog modela reljefa (DEM) rezolucije 5 x 5 m. Analizirana je gustoća ponikava po svakom od razreda nadmorske visine, nagiba padina, ekspozicije padina i vertikalne raščlanjenosti reljefa. Provedena je analiza korelacije gustoće ponikava i morfometrijskih parametara na razini manje prostorne skale koja obuhvaća neposrednu okolinu ponikava i na razini veće prostorne skale koja obuhvaća cijelu površinu Parka prirode. U radu je analiziran i uspoređen prostorni raspored i gustoća ponikava s geološkom građom. Provedena je korelacija gustoće ponikava s gustoćom rasjeda kao i korelacija gustoće ponikava s udaljenosti od rasjeda. Analizirano je određeno područje na kojem su korištena dva načina definiranja granica ponikava, te su na temelju toga izračunate dubine, površine i volumeni ponikava. Analiza pokazuje značajnu korelaciju općih morfometrijskih obilježja reljefa te pojave i gustoće ponikava.

59 stranica, 36 grafičkih priloga, 9 tablica, 34 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: ponikve, krš, PP Biokovo, morfometrija

Voditelj: prof. dr. sc. Neven Bočić

Povjerenstvo: prof. dr. sc. Neven Bočić
 prof. dr. sc. Sanja Faivre
 izv. prof. dr. sc. Mladen Pahernik

Tema prihvaćena: 9. 2. 2023.

Rad prihvaćen: 4. 7. 2024.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Master Thesis

Spatial distribution and density of dolines of the Biokovo Nature Park

Mia Trojanović

Abstract: Dolines are closed depressions in karst relief and are the most characteristic forms in karst landscapes. This study analyzes the spatial distribution and density of dolines in the Biokovo Nature Park. Data on the locations of dolines were obtained through vectorization using 1:25000 scale topographic maps, and morphometric relief data were derived from analyses using a 5x5 m resolution digital elevation model (DEM). The density of dolines was analyzed across different classes of elevation, slope gradient, slope aspect, and vertical dissection of the relief. A correlation analysis was conducted between the density of dolines and morphometric parameters at a smaller spatial scale involving the immediate surroundings of the dolines and at a larger spatial scale covering the entire area of the Nature Park. The paper analyzed and compared the spatial distribution and density of dolines with geological structure. Correlation was conducted between the density of dolines and fault density, as well as the correlation between the density of dolines and the distance from faults. A specific area was analyzed where two methods of defining the boundaries of dolines were used, and based on this, the depths, areas, and volumes of the dolines were calculated. The analysis shows a significant influence of relief morphometry on the occurrence and density of dolines.

59 pages, 36 figures, 9 tables, 34 references; original in Croatian

Keywords: dolines, karst, Biokovo Nature Park, morphometry

Supervisor: Neven Bočić, PhD, Full Professor

Reviewers: Neven Bočić, PhD, Full Professor
Sanja Faivre, PhD, Full Professor
Mladen Pahernik, PhD, Associate Professor

Thesis title accepted: 09/02/2023

Thesis accepted: 04/07/2024

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

Zahvala

Hvala mentoru prof. dr. sc. Nevenu Bočiću na smjernicama i pomoći prilikom pisanja diplomskog rada.

Hvala cijeloj obitelji, a posebno mami, tati i Davoru na motivaciji i strpljenju. Hvala mom Markusu na svim savjetima i velikoj podršci. Hvala vam što ste vjerovali u mene!

Sadržaj

1	Uvod.....	1
1.1	Osnovna obilježja krša.....	2
1.2	Ponikve	2
2	Dosadašnja istraživanja	7
3	Prostor istraživanja	8
3.1	Geomorfologija.....	9
3.2	Geološka građa	11
3.3	Tektonski odnosi.....	14
3.4	Klima	16
4	Metode istraživanja	17
5	Rezultati	20
5.1	Prostorni raspored i gustoća ponikava.....	20
5.2	Odnos pojave ponikava i visina reljefa.....	22
5.3	Odnos pojave ponikava i nagiba padina	24
5.4	Odnos pojave ponikava i ekspozicija padina.....	26
5.5	Odnos pojave ponikava i vertikalne raščlanjenosti reljefa	28
5.6	Utjecaj geološke građe na pojavu ponikava	30
5.7	Analiza susjedstva	38
5.8	Morfometrijska analiza ponikava poligonalnog krša	42
6	Rasprava	48
7	Zaključak.....	54
8	Literatura	55
9	Prilozi	VII

1 Uvod

Biokovo, planina vanjskih Dinarida područje je mnogih prirodnih fenomena koji su od davnina privlačili posjetitelje i bili predmetom raznovrsnih znanstvenih studija. Područje planine odlikuje duboki krš koji obuhvaća krški i fluviokrški tip reljefa, razvijen na tektonski poremećenim naslagama jurskih i krednih vapnenaca (Matić i Mijić, 2018). Ponikve predstavljaju najčešći oblik površinskog krškog reljefa na ovom području i time imaju veliki značaj u formiranju krškog pejzaža. Odražavaju složene interakcije između geoloških, klimatskih i tektonskih čimbenika. Biokovo je kao posebnim dijelom prirodne baštine, zbog svojih geomorfoloških fenomena, raznovrsnih biljnih i životinjskih vrsta, 1981. proglašen Parkom prirode s ukupno 19550 ha (Dragušica i Ozimec, 2008), što je ujedno i prostorni obuhvat istraživanja ovog rada.

Ciljevi ovog istraživanja su analizirati gustoću i prostorni raspored ponikava na području Parka prirode Biokovo, a to uključuje ispitati utjecaj morfometrijskih parametara hipsometrije, nagiba padina, vertikalne raščlanjenosti i orijentacije padina na gustoću ponikava i njihov prostorni raspored. Cilj je provesti analizu distribucije i gustoće ponikava po litostratigrafskim jedinicama te ispitati utjecaj rasjeda na njihovu pojavu i gustoću.

1.1 Osnovna obilježja krša

Hrvatska je u svijetu poznata po brojnosti i posebnostima krških pojava i oblika koji obilježavaju krške zaravni, dijelove gorskog reljefa te reljef jadranskog podmorja i priobalja (Magaš, 2013). U Hrvatskoj krški i fluviokrški reljef zauzima 44% površine i razvija se na karbonatnim stijenama vapnenca i dolomita (Bognar i dr., 2012). Krš je definiran kao teren, obično na vapnencu ili dolomitu, u kojem je topografija uglavnom rezultat otapanja stijena, a koji se može karakterizirati ponikvama, ponornicama, zatvorenim depresijama, podzemnim drenažama i špiljama (Bonacci, 1987). Širok raspon zatvorenih površinskih depresija, dobro razvijen sustav podzemne drenaže i snažna interakcija između cirkulacije površinske vode i podzemne vode tipični su za kršna područja. Karakteristični reljefni oblici kao što su i ponikve, proizlaze iz kombinacije visoke topljivosti i dobro razvijene sekundarne poroznosti (Ford i Williams, 2007). Zbog vrlo brze stope infiltracije, osobito u golom dinarskom kršu, rijetki su kopneni tokovi i postojanje stalnih otvorenih tokova u krškim terenima (Bonacci, 1987). Sama značajna topljivost stijena nije dovoljna za stvaranje krša. Građa i litologija stijena također su važni: guste, masivne, čiste i grubo razlomljene stijene razvijaju najbolji krš. Topljive stijene s izrazito velikom primarnom poroznošću (30-50%) obično imaju slabo razvijen krš. Izrazite površinske i podzemne značajke koje su obilježje krša rezultat su otapanja stijena prirodnim vodama duž putova za koje je zaslužna geološka podloga (Ford i Williams, 2007).

1.2 Ponikve

Ponikve se definiraju kao male do srednje zatvorene depresije na krškom terenu. Obično su kružnog do subkružnog tlocrtnog oblika i variraju u promjeru od nekoliko metara do 1 km. Strane im se kreću od blagih do okomitih, a dubine mogu biti i do nekoliko stotina metara. Nastaju različitim procesima uključujući otapanje, urušavanje i slijeganje. Ponikve se u krajoliku mogu pojaviti pojedinačno ili kao gusto zbijene skupine koje u potpunosti prožimaju teren (Ford i Williams, 2007). Ponikve u međunarodnoj znanstvenoj literaturi, predstavljaju najčešći i najtipičniji oblik krškog krajolika. Prema Fordu i Williamsu (2007), ovaj tip reljefa smatra se dijagnostičkim oblikom krša.



Slika 1. Ponikva s obradivim tlom na dnu, Biokovo (foto: Mia Trojanović, 13.5.2024)

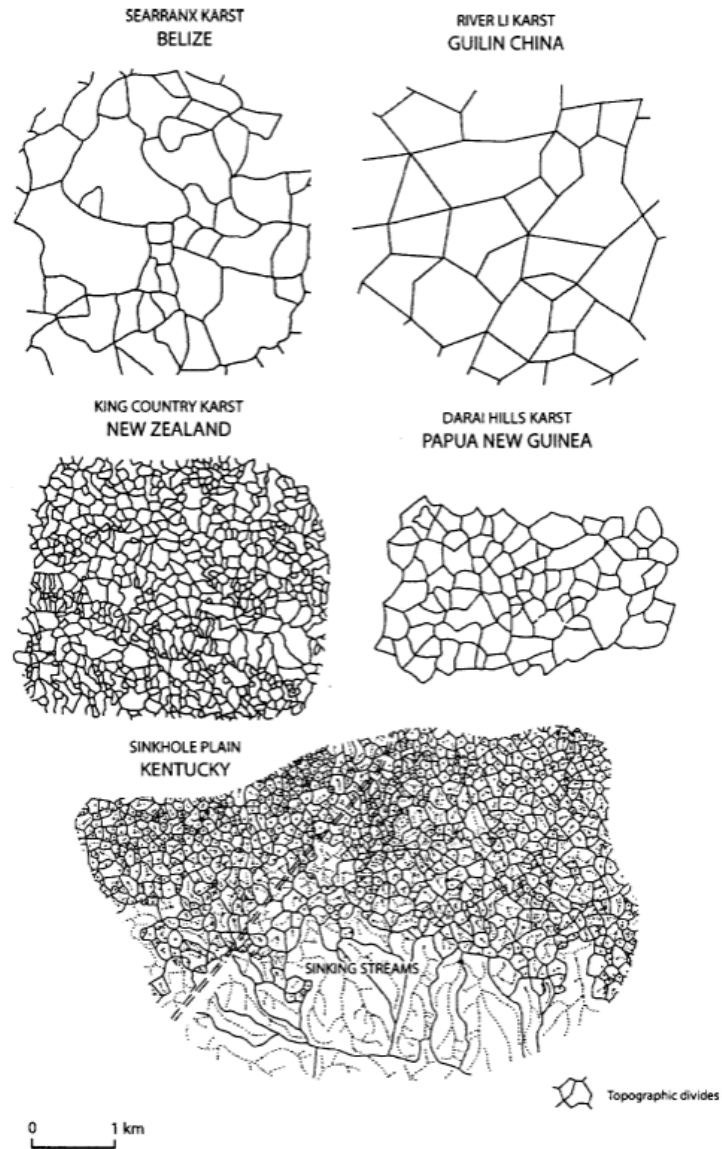
Sauro (2003) navodi četiri glavne podjele ponikava, a kojima je glavni faktor međusobnog razlikovanja njihova geneza; ponikve akcelerirane korozije ili normalne ponikve, urušne ponikve, ulegnute ponikve, prekrivene ponikve i sjecišne ponikve. Uzimajući u obzir hidrologiju, Sauro (2003) dalje dijeli normalne ponikve na; obične korozijske (*downdrown*), ponikve koncentriranog ulaza (*point recharge doline*), predodređene ponikve (*inception doline*) i ponikve podzemnog formiranja (*underprinting dolines*). Ford i Williams (2007) također klasificiraju vrste ponikava te ih dijele na korozijske (*solution doline*), urušne (*collapse doline*) i one nastale slijeganjem (*subsidence dolines*). Ponikve na Biokovu su korozijske dok su na biokovskoj zaravni i urušne.

Korozijske ponikve (*Solution dolines*) formiraju se otapanjem karbonatnih stijena. Proces otapanja najintenzivniji je u središtu ponikve što rezultira depresijom na površini. Voda bogata ugljikovim dioksidom (CO_2) prodire u podzemlje, uzrokujući otapanje vapnenca i stvaranje šupljina koje se s vremenom šire. Te ponikve su obično okruglog ili ovalnog oblika s blagim padinama i mogu biti duboke nekoliko metara do stotinu metara (Ford i Williams 2007). Dragušica i Ozimec (2008) korozijske ponikve na Biokovu koje su nerijetko s obradivim tlom na dnu nazivaju plodnim oazama u krškoj pustinji (Sl. 1.).

Urušne ponikve (*Collapse dolines*) nastaju kada se strop šupljine ili špilje uruši zbog mehaničkog stresa i slabljenja materijala iznad njega što može biti uzrokovano korozijom, snižavanjem razine podzemne vode ili kombinacijom procesa. Proces obuhvaća slabljenje i pucanje stijena što dovodi do iznenadnog ili postupnog urušavanja stropa šupljine, stvarajući depresiju na površini. Ove ponikve su obično strmih strana, a s vremenom mogu poprimiti izgled zdjele uslijed denudacije i taloženja materijala na dnu (Ford i Williams, 2007).

Gusto naslagane ponikve na vršnoj zaravni Biokova, odvojene oštrim upečatljivim grebenima tvore posebni i fascinantni krajolik nazvan poligonalni krš (Ozimec, 2022). Williams i Ford (2007) ga opisuju kao krajolik koji nalikuje kutiji za jaja s barijerama između susjednih udubljenja koji tvore stanični mrežasti uzorak. Ovaj geomorfološki fenomen prvi je prepoznat u Papua Novoj Gvineji, gdje ga je Williams (1972) opisao u svojim istraživanjima, ali se javlja i u mnogim drugim karbonatnim krškim područjima diljem svijeta, uključujući dijelove Kariba, SAD-a, Novog Zelanda, Tasmanije, Kine, Bosne i Hercegovine i Turske. Poligonalni krš predstavlja izuzetno učinkovit prirodni drenažni sustav gdje padaline brzo otječu prema dnu ponikava što čini poligonalni krš jednim od najučinkovitijih sustava odvodnje u prirodi – vjerojatno i najučinkovitiji (Ford i Williams, 2007). Ponikve svojim grebenima obično imaju tendenciju oblikovati peterokute više nego šesterokute (Williams, 1972). Telbisz i dr. (2009) zbog karakteristične mreže grebena između ponikava koji su oštri, uski i strmi, biokovsku zaravan nazivaju poligonalnim kršem (Sl. 3.). Navode da je takav tip krša relativno rijedak u europskim krškim područjima. Promatrajući moguće razloge velikog produbljivanja ponikava, mogu se spomenuti sljedeći čimbenici: velika nadmorska visina visoravni; intenzivno uzdizanje planina; velika količina godišnjih oborina; vegetacija koncentrirana u najdubljim dijelovima ponikava (što je vrlo važno za učinak tla zbog CO₂ i druge materijale za veću stopu otopanja); te utjecaj urušnih procesa (povezano s velikim brojem špilja i urušnih ponikava) (Telbisz i dr., 2009). Vapnenački poligonalni krš ima različite veličine poligona dobivenih obrubima grebena. Na primjer, u regiji Guilin u Kini poligoni imaju prosječnu površinu od 0,51 km² što je gotovo 30 puta veće od veličine mreže od 0,018 km² u regiji Waitomo na Novom Zelandu. Ovo je značajno jer je kontrast u poligonalnoj geometriji krša gotovo sigurno odraz izrazite razlike u hidrauličkoj vodljivosti epikša u tim dvjema regijama (Ford i Williams, 2007). Williams (2004) prikazuje različite stilove mreže poligona i veličine ponikava analiziranih u Belizeu, Novom Zelandu, Kini, Papua Novoj Gvineji i SAD-u te navodi kako je to moguća posljedica različite klime, no također je utvrđeno da postoji značajan raspon tipova krških krajolika čak i unutar

pojedinačnih klimatskih zona (Sl. 2.). Stoga se postavlja pitanje jesu li razlike u krajoliku između klimatskih zona veće od onih unutar njih.



Slika 2. Usporedba različitih izgleda mreže poligonalnog krša, prema Williamsu (2004), preuzeto iz Ford i Williams (2007)



Slika 3. Poligonalni krš vršne zaravni Biokova (foto: Mia Trojanović, 13.5.2024)

2 Dosadašnja istraživanja

Prve značajne geografske i geomorfološke podatke o Biokovu zabilježio je Fortis (1774) koji u svojem djelu detaljno opisuje reljef, geomorfologiju, floru i faunu. Fortisovo djelo, iako upitne točnosti, predstavlja prvi stručni pregled Biokova (Fortis, 1984).

Krajem 19. stoljeća započela su opsežna znanstvena istraživanja Dalmacije, uključujući i Biokovo. Izrada temeljnih geoloških karata u mjerilu 1:100000 za područje Biokova započela je 1968. godine s objavom listova i pratećih tumača za Omiš (Marinčić i dr., 1976), Ploče (Magaš i dr., 1977) i Imotski (Raić i dr., 1968).

Istraživanja vezana za ponikve započinju Božićević i Benček (1983) kada objavljuju rad *Tektonsko-geomorfološke specifičnosti Biokova i pojave urušnih vrtača i ledenica*.

Bočić i Pahernik (2011) analiziraju prostorni raspored i gustoću ponikava na području Parka prirode Biokovo. Korištene su morfometrijske metode analize prostornog rasporeda ponikava prema hipsometrijskim razredima, nagibima padina, vertikalnoj raščlanjenosti reljefa te ekspoziciji.

Bočić i Matic (2011) istražuju reljef južnog dijela Biokova koristeći morfometrijske metode, kako bi se omogućilo efikasno trasiranje podzemne vode. Rad uključuje analizu gustoće i prostornog rasporeda ponikava. Podaci navode da su ponikve najbrojnije u krednim i jurskim naslagama što sugerira jaku povezanost litoloških karakteristika i distribucije ponikava.

Telbisz i dr. (2009) provode detaljnu analizu ponikava na Biokovu. Istraživanje se temelji na kreiranju digitalnog modela reljefa (DEM) istraživanog područja, nakon čega slijedi detaljna morfometrijska analiza ponikava. Specifičnost istraživanog područja jest njegova poligonalna struktura, koja je izvedena iz DEM-a pomoću GIS hidroloških alata. Rezultati pokazuju kako je vršni dio zaravni Biokova karakterizirano kao poligonalni krš, relativno rijedak u europskim krškim područjima.

Istraživanja ponikava vršena su i u ostalim krškim područjima Hrvatske. Faivre (1992) provodi analizu gustoće ponikava na području Sjevernog Velebita i Senjskog bila, s ukupno 18059 ponikava na 947 km². Autor istražuje kako različiti čimbenici, uključujući litološke, strukturne, tektonske i klimatske, utječu na raspored i gustoću ponikava. Također, morfologija i struktura terena, uključujući nagibe i vrste pukotina, su važni za razumijevanje procesa okršavanja.

Pahernik (2000) analizira prostorni raspored i gustoću ponikava na sjeverozapadnom dijelu Velike Kapele. Pomoću GIS-a i metode analize susjedstva, rad ispituje veze između

broja i gustoće ponikava i tektonskih struktura područja. Rezultati ukazuju da litološke i klimatske karakteristike igraju manju ulogu u određivanju položaja i gustoće ponikava, dok tektonske karakteristike znatno utječu na njihovu distribuciju. Analiza također pokazuje kako se starost i aktivnost tektonskih blokova odražavaju na raspored i broj ponikava.

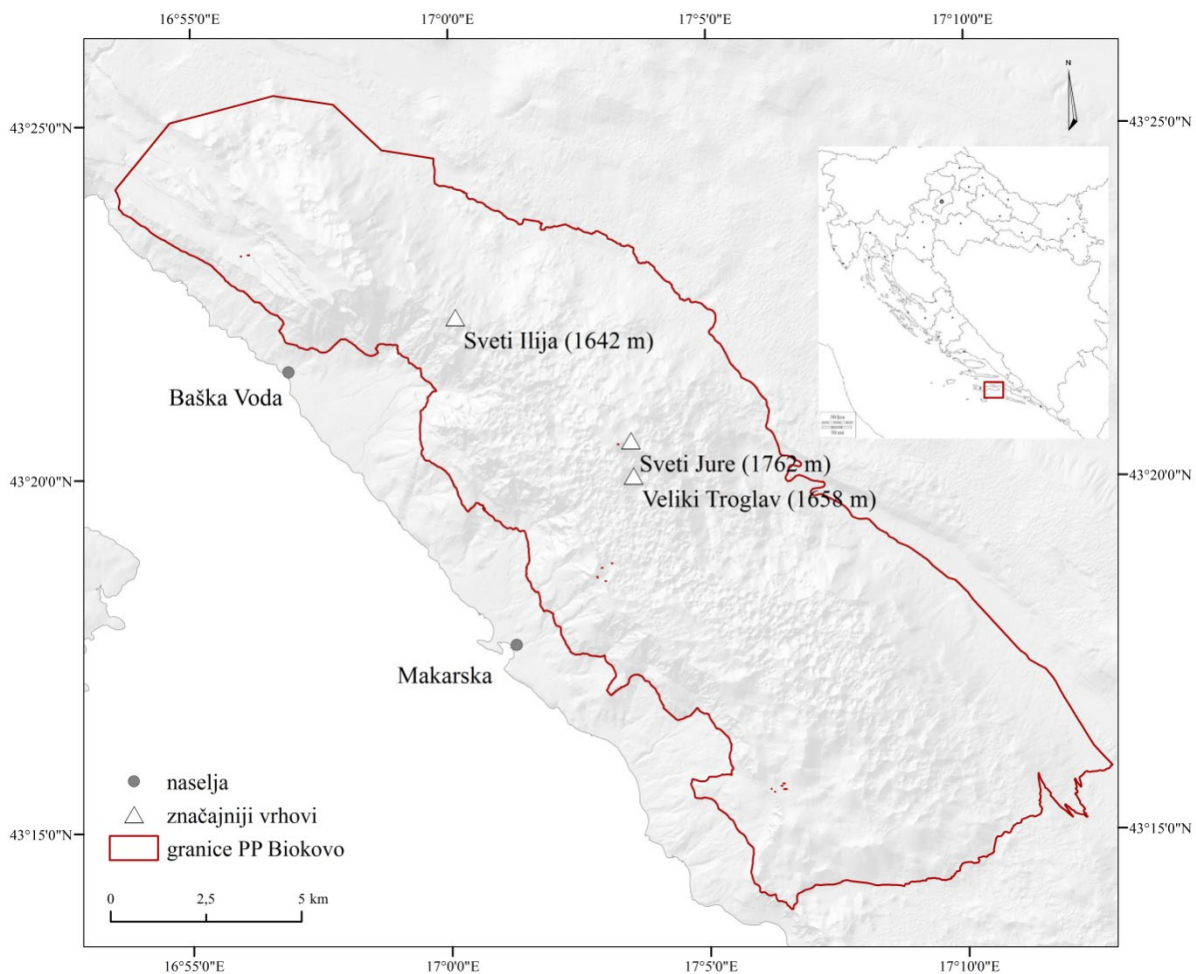
Faivre i Pahernik (2007) istražuju utjecaje strukturalnih čimbenika na prostornu distribuciju ponikava na otoku Braču. Istraživanje analizira kako tektonske značajke, kao što su smjer pružanja rasjeda, utječe na lokaciju i gustoću ponikava.

Marković i dr. (2016) analiziraju prostorni raspored i gustoću ponikava jugoistočnog Velebita. Analiza je pokazala utjecaj hipsometrije, nagiba padina i vertikalne raščlanjenosti na raspored ponikava. Analizirana je povezanost položaja ponikava s lokacijama ulaza u speleološke objekte. Rezultati pokazuju da litološke jedinice imaju važnu ulogu u rasporedu ponikava.

Pahernik (2012) analizira prostornu gustoću ponikava na području krša Republike Hrvatske. Glavni cilj istraživanja je razumijevanje prostorne distribucije i gustoće ponikava s obzirom na različite geomorfološke i geološke čimbenike. Analizira se gustoća ponikava i morfometrijskih parametara poput nagiba, visine, i litoloških značajki terena. Istraživanje navodi kako su litologija i morfometrija ključni za prostornu distribuciju ponikava.

3 Prostor istraživanja

Planina Biokovo, dužine 36, a širine 9,5 km smjestila se duž obalnog područja Hrvatske i administrativno pripada Splitsko-dalmatinskoj županiji. Tipičnog je dinarskog pravca pružanja sjeverozapad-jugoistok, uz manja lokalna odstupanja. Integralni je dio tektonskog sustava Dinarida te europske Mediteranske biogeografske regije (Dragušica i Ozimec, 2008). Kao dio vanjskih Dinarida, sudjeluje u planinskom lancu koji obuhvaća Velebit, Kozjak, Mosor, Biokovo te Orjen, s posebnom značajkom da vrh Vošac (1421 m) leži na svega 2,9 km od obale Jadranskog mora. Najviši vrh Biokova, Sv. Jure, uzdiže se na visinu od 1762 metra (Dragušica i Ozimec, 2008).



Slika 4. Geografski položaj istraživanog područja PP Biokovo

Istraživanje će obuhvaćati područje unutar granica Parka prirode Biokovo, što čini ukupnu površinu od 195 km² (Dragušica i Ozimec, 2008) (Sl. 4.).

3.1 Geomorfologija

Geomorfologiju Biokova obilježavaju karakteristična krška obilježja, uključujući ponikve, škrape, doline i opsežne podzemne drenažne sustave, oblikovane otapanjem topivih stijena poput vapnenca i dolomita (Matić i dr., 2012). Morfološki gledano smjerom JZ prema SI, Biokovo možemo podijeliti na tri manje jedinice: primorsku, vršni dio hrpta i sjeveroistočnu padinu (Mihljević, 1993). Vršni dio Biokova ima oblik zaravni koja je ispresjecana dubokim ponikvama i zavalama, a morfološkom analizom je ustanovljeno da gusto raspoređene ponikve čine sustav okršenih dolina (Mikac, 2004). Reljef Biokova ističe

se s dva osnovna niza grebena. Od uskog grebena s vrhom Sv. Ilija (1640 m) prema jugoistoku se proteže visoki unutrašnji greben s vrhom Sv. Jure (1764 m), dok se bliže moru uzdiže primorski greben s nizom nižih vrhova poput Kuranik, Šibenik, Stropac, Vošac i Sinjal. Prosječna visina primorskog grebena je oko 1200—1300 m, a udaljen je od mora oko 3 km, dok je vrh Sv. Jure udaljen oko 5 km od obale. Biokovo se dijeli tri orografsko-strukturne jedinice od SZ prema JI. Sjeverozapadni dio je najuži, širine oko 5 km, s velikom energijom reljefa i strmim padinama. Središnji dio Biokova najviši je i obilježen je vršnom zaravni širokom oko 1,5 km s najvišim vrhom Sv. Jure, gdje je energija reljefa najizraženija. Jugoistočni dio je najniži s manjim nagibom padina i manjom energijom reljefa, a konveksan oblik padina ukazuje na ranije izdizanje u odnosu na sjeverozapadni i središnji dio. Nagibi padina na Biokovu variraju od 12° do 55°, a primorske padine su izrazito strme s nagibima preko 55° (Dragušica i Ozimec, 2008).

Prema Bognaru koji 2001. objavljuje geomorfološku regionalizaciju Republike Hrvatske, Biokovo je borano-rasjedno-ljuskava struktura koja pripada megamakrogeomorfološkoj regiji Dinarskoga gorskog sustava, makrogeomorfološkoj regiji centralne Dalmacije s arhipelagom, mezogeomorfološkoj regiji gorskih hrptova Biokova i Rilića s Vrgoračko-brdsko-zavalskim područjem te subgeomorfološkoj regiji - gorski hrbat Biokova. Dragušica i Ozimec (2008) geomorfološki dijelu prostor Biokova na pet cjelina:

1. Predgorska stepenica - obalno flišno područje
2. Primorski strmac - strma primorska biokovska padina
3. Biokovska vršna zaravan - zaravan mrežastog krša s najvišim vrhovima
4. Zagorska padina - kontinentalna biokovska padina
5. Rasjedne zabiokovske udoline - Župsko-raška i Rastovačko-žeževička udolina

Predgorska stepenica Biokova sastoji se od uskog flišnog podgorja koje se brzo uzdiže od obale mora prema planinskom masivu. Na oko 500 m nadmorske visine nastavlja se primorski strmac (Sl. 5.). Od 1000 do 1200 metara proteže se okršena biokovska vršna zaravan koja se postupno uzdiže do najvišeg vrha Sv. Jure visine 1762 m. Ovdje su prostrane ponikve u donjokrednim vapnencima, često duboke preko 100 m, koje se ponekad nastavljaju u jame. Međusobno su odvojene uskim grebnima, najčešće su urušene te se zbog posebne morfologije taj oblik površinskog krša naziva mrežasti ili poligonalni krš. Uz rub ponikva

česti su ulazi u speleološke objekte koji znaju biti smješteni i na dnu same ponikve. Završna i blaža biokovska padina, 200-500 m, dio je Župsko-raške i Rastovačko-žeževičke rasjedne zabiokovske udoline (Dragušica i Ozimec, 2008).



Slika 5. Primorska padina Biokova (foto: Mia Trojanović, 13.5.2024)

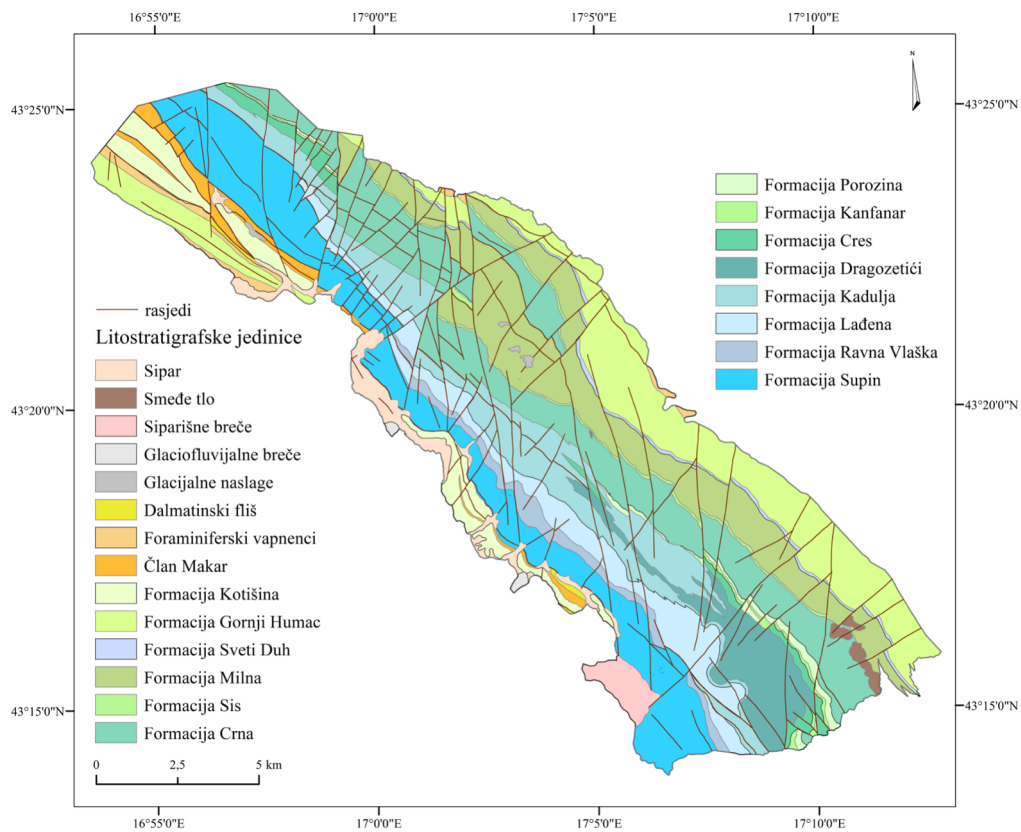
3.2 Geološka građa

Geologija Biokova treba se promatrati u širem kontekstu, izvan granica Parka prirode, kako bi se razumjela njena kompleksnost. Krajem krede, prije otprilike 65 milijuna godina, došlo je do sudaranja Afričke i Euroazijske ploče. Ovo sužavanje oceanskog prostora izazvalo je snažne tektonske poremećaje, pri čemu su horizontalni slojevi stijena naborani, razlomljeni i izdignuti iznad razine mora, stvarajući planinske lance poput Alpa i Dinarida kojih je i Biokovo dio (Ozimec, 2022). Biokovo je građeno je od karbonatnih naslaga mezozoika i starijeg paleogena, kao i mlađih eocenskih sedimenata. Biokovo je građeno pretežno od vapnenaca, dolomita i karbonatnih breča (Velić i dr., 2017) (Sl. 8.). Izdizanje Biokova nastavlja se u paleogenu, uz stalne rubne potiske i daljnje taloženje fliša. Sljedećih 25 milijuna godina slijedi potpuno okopnjavanje, okršavanje, boranje i reversno rasjedanje. Ti procesi traju kroz kvartar do danas čemu je dokaz jaka seizmičnost Biokova. Erozija i

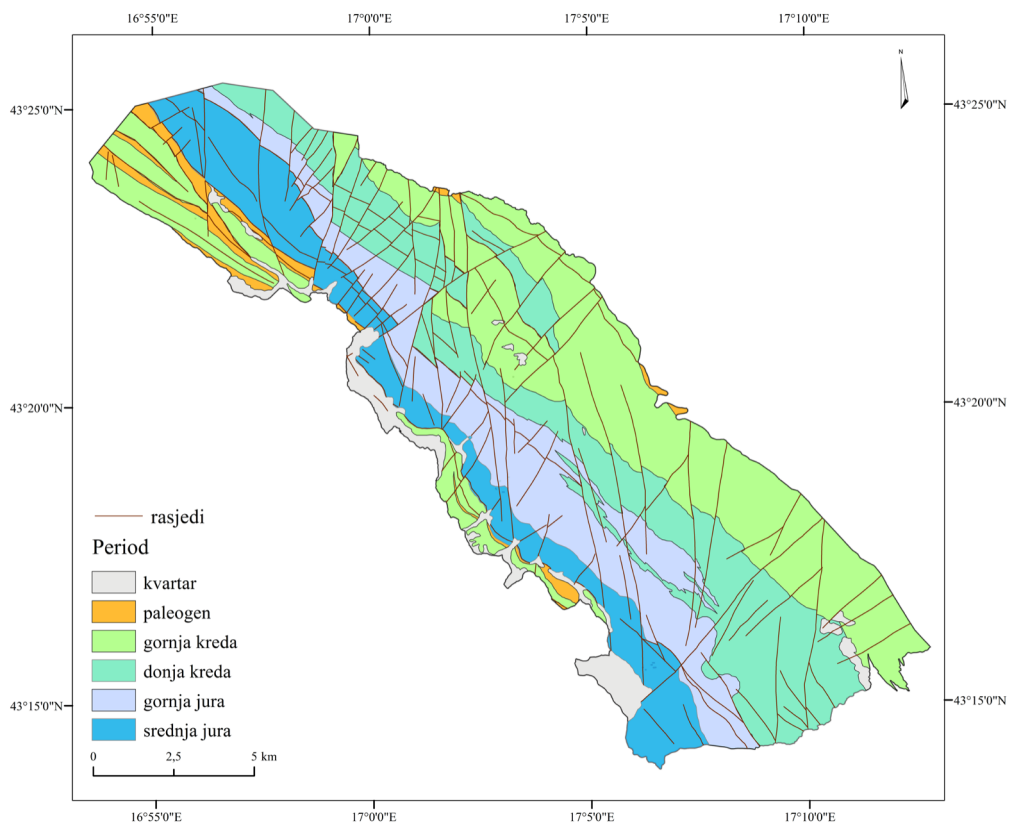
okršavanje nastavljali su se kroz neogen i kvartar što je rezultiralo jakom seizmičnošću Biokova. Posebna geološka građa Biokova, uključujući karbonatne i nekarbonatne naslage te specifične strukturno-tektonske odnose, čini ga geomorfološki jedinstvenim unutar Vanjskih Dinarida. Oko 200 milijuna godina geološke povijesti zapisano je u oko 3 km debelim naslagama (Benček, 2008) (Sl. 7.).

Geološka istraživanja potvrđuju prisutnost srednje i gornje jure te donje i gornje krede, dok vapnenci i breče gornje krede dominiraju u Podbiokovlju, SI područje parka uz granicu, na primorskim padinama su prisutne kvartarne naslage, a paleogenski foraminiferski vapnenci i fliš pojavljuju se na nižim visinama priomrske strane hrpta (Benček, 2008). Padina hrpta prema moru, koja je izrazito strma, sadrži dva sloja – donji sloj, s gornjokrednim Kotišinskim naslagama (karbonatne breče i kalkareniti) i viši gornji sloj, sa srednjim i gornjojurskim vapnencima, čiji oštri rubovi obuhvaćaju vrhove visine od 1400 do 1600 metara, udaljeni od mora svega 3 do 4 km (Velić i dr., 2017) (Sl. 6.).

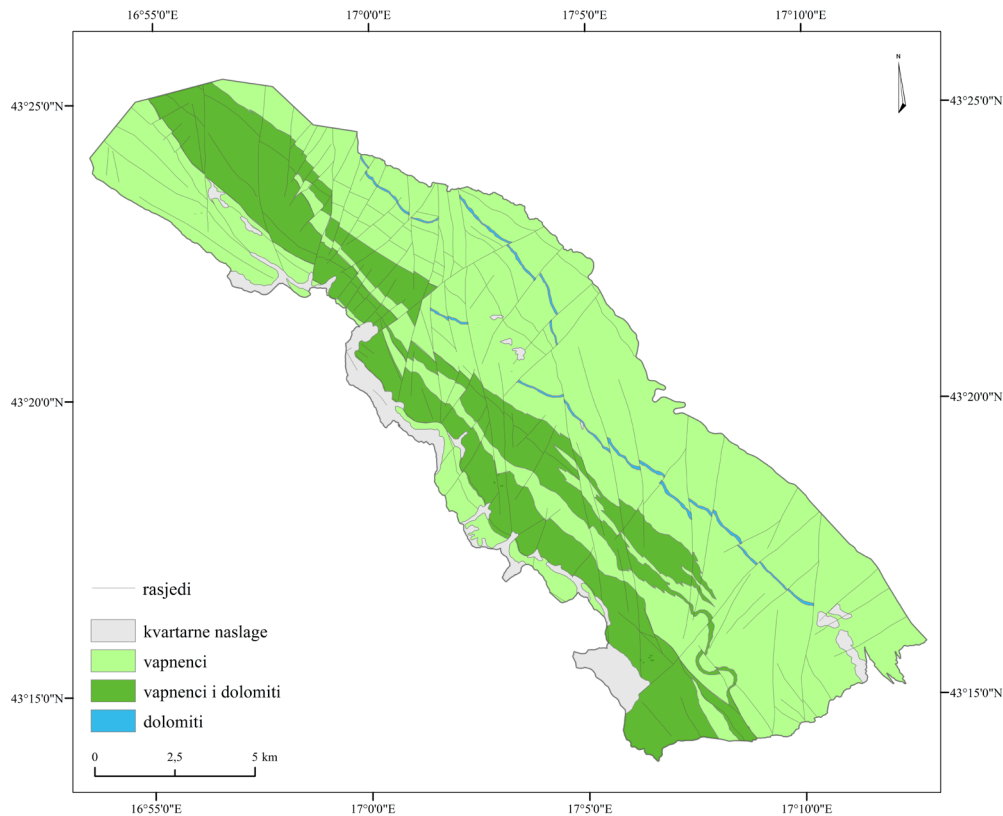
Promatrajući biokovsku visoravan s vrhom Sv. Jure u smjeru JI i SZ uočljiva je zaravan donjokrednih naslaga. Debljina tih donjokrednih sedimenata na Biokovu procjenjuje se na 700 — 1000 m. Gornjokredne naslage slijede na donjokrednim te su otkrivene duž cijele sjeveroistočne padine Biokova (Benček, 2008) (Sl. 7.).



Slika 6. Geološka karta litostratigrafskih jedinica PP Biokovo (izrađeno prema podacima Fuček i dr., 2022)



Slika 7. Geološka karta starosti stijena PP Biokovo (izrađeno prema podacima Fuček i dr., 2022)



Slika 8. Litološka karta PP Biokovo (izrađeno prema podacima Fuček i dr., 2022)

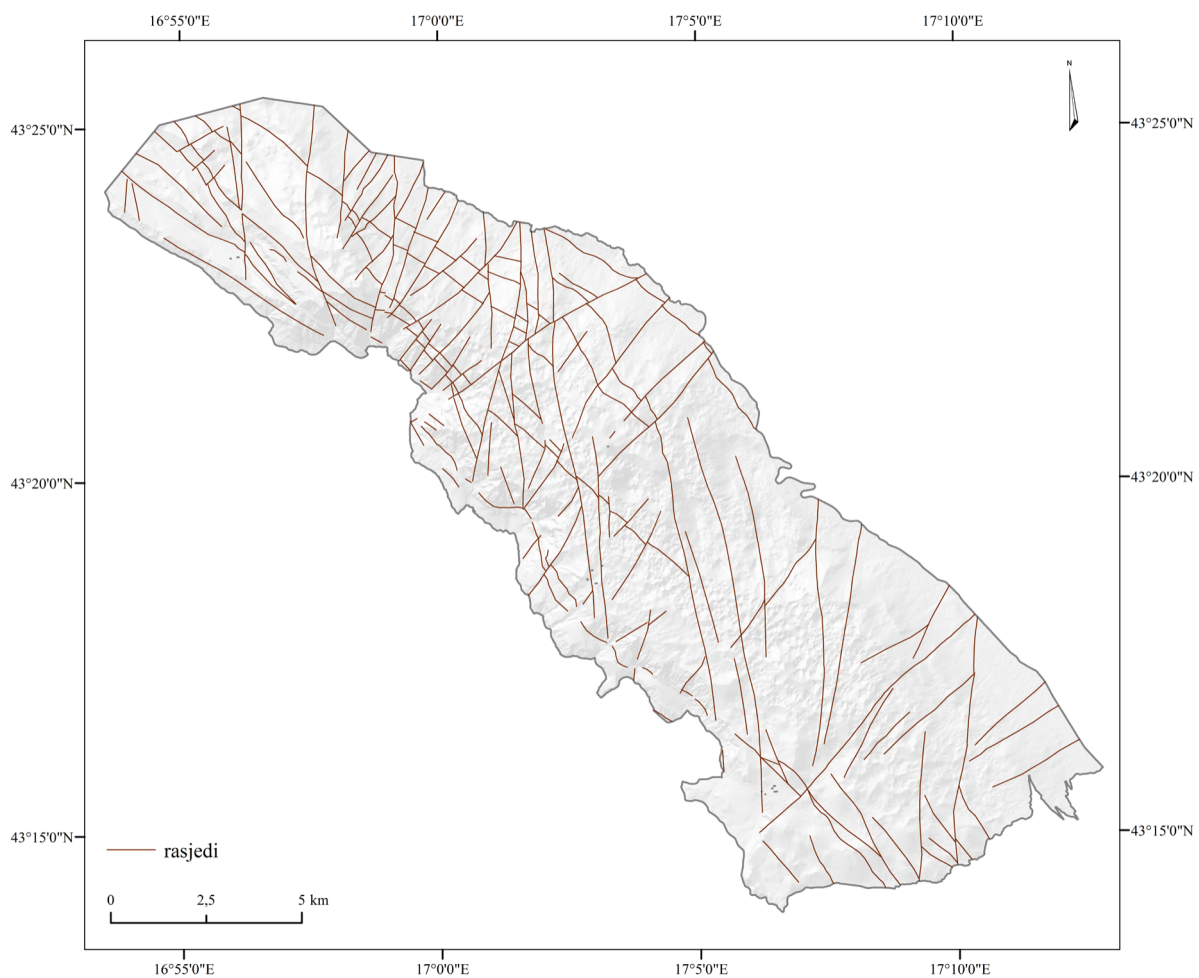
3.3 Tektonski odnosi

U strukturalno geomorfološkom smislu, Biokovo je planina izgrađena od jako rasjedanih mezozojskih karbonatnih stijena koje se protežu u smjeru SZ-JI što se poklapa s dinarskim pravcem pružanja. Izdignuto je reverznim rasjedanjem i potiskivanjem jugozapadnih vergencija (Velić i dr., 2017). Tektonsko oblikovanje Biokova započinje krajem gornje krede, tijekom laramijske orogeneze, kada se planina uzdiže i formira prostrana i dominantna antiklinala. Nakon toga slijede tektonski pokreti pirinejske orogeneze, uz sažimanje, usmjerenje (dinarsko pružanje), formiranje ljuski te konačno reverzno natiskivanje, uz kontinuirano podvlačenje paleogenskih i paleogensko-senonskih sedimenata duž snažnog reverznog rasjeda s prosječnim nagibom od oko 45° (Benček, 2008).

Biokovo se dijeli na 4 strukturalno tektonске jedinice; Predbiokovlje koje zahvaća uski pojas primorske sjeverozapadne padine hrpta, dio Kotišina koja se nastavlja na Predbiokovlje te obuhvaća pojas primorske padine hrpta te se proteže od sjeverozapada pa dalje južno do Makarske. Sljedeća tektonska jedinica je Biokovo koja zauzima gotovo cijelu površinu parka

te jedinica Zabiokovlje koja se Umačkim reverznim rasjedom odvaja od jedinice Biokovo, a zauzima tek malu površinu na samom sjeveroistoku parka (Fuček i dr., 2022).

U strukturno-tektonskom smislu osobitost Biokova je vrlo izražena tektonska poremećenost (Sl. 9.). Uz vrlo snažna reversna kretanja s popratnim boranjima, nastaje niz rasjeda osnovnog smjera pružanja sjever do sjeverozapad — jug do jugoistok. Ovi lomovi pripadaju najstarijim rasjedima Biokova, a posljedica su nejednakog naprežanja strukture masiva tijekom nastanka. U mlađim orogenetskim fazama duž tih rasjeda, svaki je istočni blok donekle spušten uz desno kretanje. Svi ostali rasjedi, paralelni ili okomiti na njih, pripadaju radijalnim pokretima mlađih orogenetskih faza koji čine današnji strukturni sklop. Biokovo još nije tektonski potpuno stabilizirano, jer recentni potresi ukazuju na seizmički izrazito aktivno područje (Benček, 2008). Dva najsnažnija potresa na Biokovu dogodila su se u siječnju 1962. Prvi je imao magnitudu 5.9 ($I = VIII^{\circ}$ MCS) a drugi magnitudu 6.1 ($h = 10$ km, $I = VIII-IX$ MCS) (Matić i dr., 2012).



Slika 9. Rasjedi PP Biokovo (izrađeno prema podacima Fuček i dr., 2022)

3.4 Klima

Prema dostupnim podacima Hidrometeorološkog zavoda Hrvatske za razdoblje od 1961. do 1990. godine s meteoroloških postaja smještenih oko planine Biokovo, kontinentalna strana Biokova pripada prijelaznom klimatskom tipu između morskog i kontinentalnog utjecaja, dok obalna strana pripada morskom klimatskom tipu. Prema Köppenovoj klasifikaciji klime, veći dio područja pripada umjereno toploj pluvijalnoj klimi (C tip), dok dijelovi iznad 1200 – 1500 m pripadaju snježno-šumskoj klimi (D tip) (Matić i dr., 2012). Takvi prijelazi su rezultat nadmorske visine i geografskog položaja. Porastom nadmorske visine količina oborina raste, a temperatura pada. Srednja godišnja temperatura varira od 15,5° C u Makarskoj do 3,9° C na vrhu Sv. Jure što pokazuje razliku od 11,6° C na udaljenosti od samo 5 km (Dragušica i Ozimec, 2008). U najvišim dijelovima planine, prosječne temperature u siječnju kreću se između 0° C i 4° C, dok apsolutna minimalna temperatura može biti niža od -25° C. Prosječne temperature u srpnju kreću se između 18° C i 22° C, dok apsolutna maksimalna temperatura može premašiti 25° C (Matić i dr., 2012). Na vrhu Sv. Jure godišnja količina oborina iznosi oko 2500 mm, a smanjuje se kako se udaljavamo od vrha. Na kontinentalnoj strani iznosi između 1300 i 1500 mm, dok je na primorskoj strani između 1100 i 1300 mm. Najveća izmjerena količina oborina zabilježena je u podnožju Biokova s kontinentalne strane, u mjestu Kozica, gdje je izmjereno 2309 mm godišnje (Dragušica i Ozimec, 2008) (Sl. 10.). Površinski vodotoci na Biokovu uglavnom su periodični i pojavljuju se tijekom topljenja snijega ili za vrijeme jakih oborina. Većina oborinskih voda ponire u sustav krških pukotina i ponovno se pojavljuje na flišnoj primorskoj padini kao krški izvori, često kaptirani, ili u moru kao vrulje, koje su karakteristične za Makarsko primorje. Oborine imaju ključnu ulogu u oblikovanju reljefa Biokova. Kiša uzrokuje eroziju i stvaranje jaruga, dok snijeg koji može biti visok nekoliko metara i zadržavati se do svibnja, potiče intenzivnu koroziju i periglacialne procese. Ovi procesi su izraženi iznad 1200 metara nadmorske visine. Smrzavanje vode u pukotinama dovodi do pukotinskih lomova, a snijeg uzrokuje lavinske staze i glacioflukcijske oblike. Ovi procesi su najizraženiji na zagorskim padinama Biokova (Dragušica i Ozimec, 2008).



Slika 10. Padaline na SI, kontinentalnoj strani Biokova (foto: Mia Trojanović, 13.5.2024)

4 Metode istraživanja

Gustoća i prostorna distribucija ponikava analizirani su na temelju vektorskog točkastog sloja ponikava koje su digitalizirane na temelju listova topografskih karata mjerila 1:25000 u izdanju Vojno-geografskog instituta u Beogradu. Digitalizirane su po načelu jedna točka - jedna ponikva pri čemu su kartirana dna ponikava bilo to male ponikve prikazane signaturama na topografskim kartama, jednostavne ponikve s jednim dnom, složene ponikve s dva ili više dna ili sekundarne ponikve koje se javljaju na padinama većih ponikava (Pahernik, 2012) (Sl. 11). Za izračun gustoće ponikava, korištena je kernel metoda kojom gustoća pojave uzorka predstavlja vrijednost broja pojave, odnosno ponikve unutar kruga radijusa r čije se središte nalazi na lokaciji t . Lokacija t pretstavlja jednu čeliju u rasteru, a za radijus kruga je određena vrijednost od 564 m, što predstavlja površinu kruga od 1 km^2 (Pahernik, 2012). Time je dobiven novi raster koji u svakoj čeliji sadrži informaciju o prostornoj gustoći ponikava na istraživanom području.

Za daljnji nastavak rada korišten je digitalni model reljefa (DEM), na kojem se radila većina geomorfoloških analiza. Korišten je DEM rezolucije $5 \times 5 \text{ m}$ koji je preuzet iz baze prostornih podataka Geografskog odsjeka PMF-a u Zagrebu (Izvor 2.). Kako bi analizirali

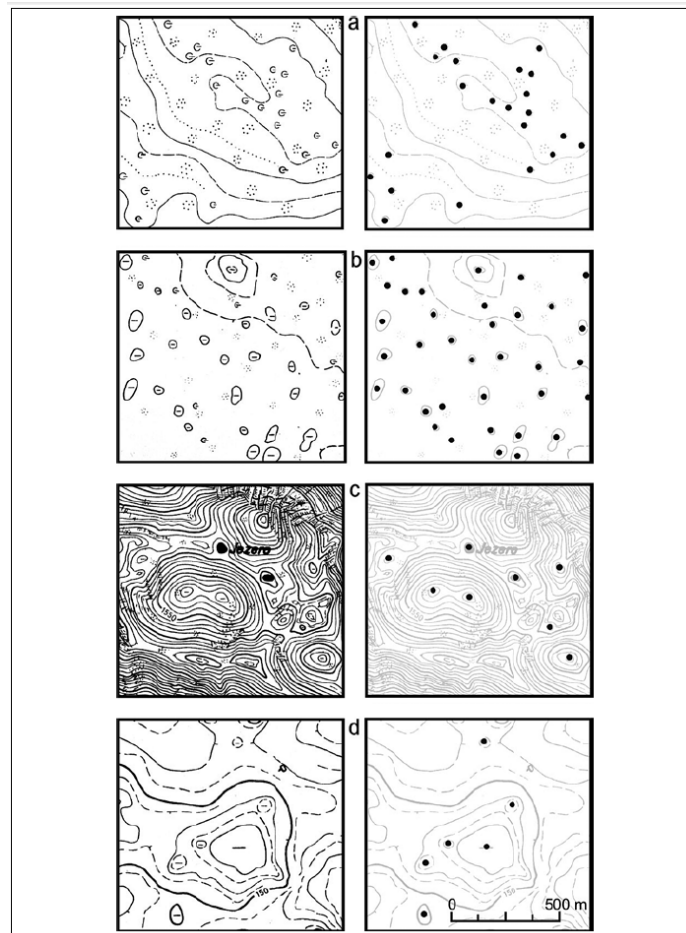
distribuciju i gustoću ponikava, izvršena je morfometrijska analiza na DEM-u, a to uključuje analizu nadmorske visine, nagiba padina, ekspozicije padina i analizu vertikalne raščlanjenosti reljefa. Svi dobiveni morfometrijski podaci su reklasificirani u pripadajuće razrede koji su određeni prema samim izlaznim podacima. Razredi nadmorske visine su razvrstani u razrede od 200 m. Nagibi padina su dobiveni metodom 3 x 3 kvadrata te su kategorizirani prema pet kategorija nagiba. Ekspozicija padina je razvrstana u 4 glavne i 4 sporedne strane svijeta, a vertikalna raščlanjenost reljefa koja označava visinsku razliku između najniže i najviše točke u jedinici površine u ovom slučaju 1 km², u 7 pripadajućih razreda. Potom su morfometrijski rasterski podaci pretvoreni u vektorske slojeve te se preklopili s točkastim vektorskim slojem ponikava, kako bi se vizualiziralo, a i brojčanim podacima prikazala gustoća i broj ponikava u svakom od razreda. Geološki podaci, prikaz tipologije stijena i rasjedi su također digitalizirani pomoću geološke karte 1: 50000 u izdanju Hrvatskog geološkog instituta u Zagrebu (Fuček i dr., 2022). Vektorizirane litostratigrafske jedinice su također preklopljene s točkastim slojem ponikava, a rasjedima su određene *buffer* zone kako bi se utvrdilo koje rasjedne zone koncentriraju veću gustoću ponikava. Izračunata je i gustoća linijskog sloja rasjeda te je dovedena u matematičku korelaciju s prostornom gustoćom ponikava.

Za ispitivanje terena koji okružuje ponikve, generirani su krugovi radijusa 250 m, veličine određene tako da prekrivaju dovoljan dio terena, a da ne uključuju djelove hrpta ili drugih strmina koje nemaju zabilježenu pojavu ponikava. Svakom krugu je određena gustoća ponikava, a nakon toga izračunate su prosječne vrijednosti morfometrijskih parametara te su s podacima o gustoći ponikava dovedene u matematičku korelaciju. Generirana je i mreža kvadrata veličine 100 m, koja prekriva kompletno područje istraživanja te je pomoću njih provedena ista matematička korelacija. Drugim riječima, korištene su dvije prostorne skale za ispitivanje korelacije morfometrije i gustoće njihove neposredne okoline pomoću *buffer* zona te kompletnog područja korištenjem mreže kvadrata.

Za analizu poligonalnog krša vršne zaravni Biokova korišten je DEM rezolucije 1 x 1 m koji je preuzet iz baze prostornih podataka Geografskog odsjeka PMF-a u Zagrebu (Izvor 1.). Jedan način definiranja ruba ponikve je dobiven korištenjem alata *Flow direction* i *Flow accumulation* unutar hidrološke analize kako bi se dobili vršni grebeni između ponikava koji su kasnije vektorizirani te su se time dobile granice ponikava. Dobiveni poligoni predstavljaju sljevno područje ponikve. Drugi način za definiranje granice ponikava je ispunama depresija na terenu koje su se dobile korištenjem alata *Fill* i *Cut Fill* te se time dobili podaci o površini, volumenu i dubini ispune. Treći način definiranja granice ponikve je definiranje najviše

zatvorene izolinije. Granice ispuna dobivene pomoću *Cut Fill* alata se poklapaju s granicama najviše zatvorene izolinije, tako da su u radu korištene samo metode vektoriziranja grebena na temelju hidrološke analize te analize ispuna ponikava. Apsolutna dubina ponikve, mjerući od ruba vektoriziranog grebena do samog dna ponikve, odnosno sljevnog područja ponikve se dobila uz pomoć DEM-a te alata *Zonal statistics*.

Korišten je ArcGIS softver sa paketima ArcMap 10.1 i ArcCatalog. Za izračune korelacije je korišten SPSS Statistics 26, a za grafičke prikaze Microsoft Exel.



Slika 11. Izdvojeni primjeri kartiranja dna ponikava; manje ponikve prikazane signaturom (a), jednostavne ponikve (b), složene ponikve s dva ili više dna i vodom ispunjene ponikve (c) te složene ponikve s više sekundarnih ponikava (d) (Pahernik 2012)

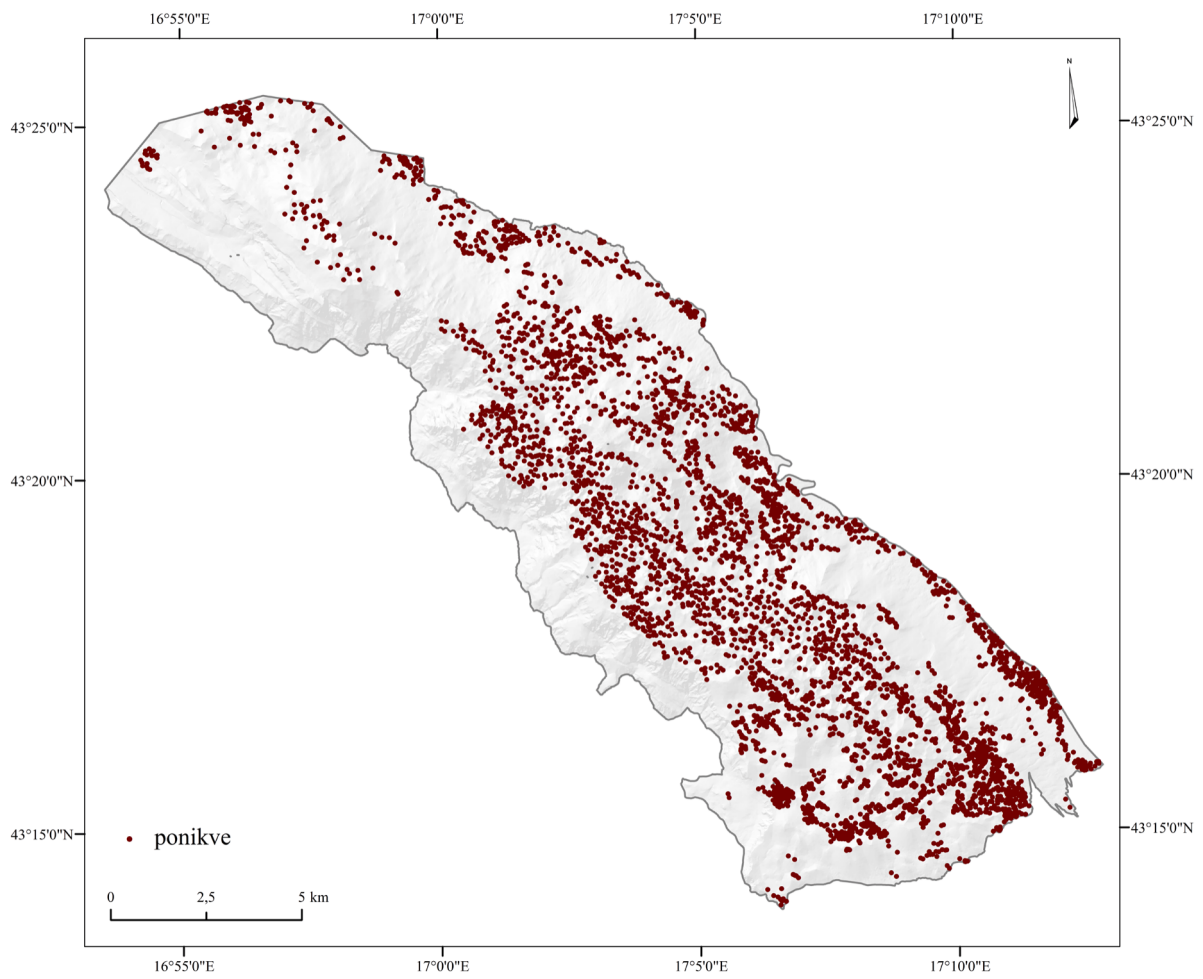
5 Rezultati

5.1 Prostorni raspored i gustoća ponikava

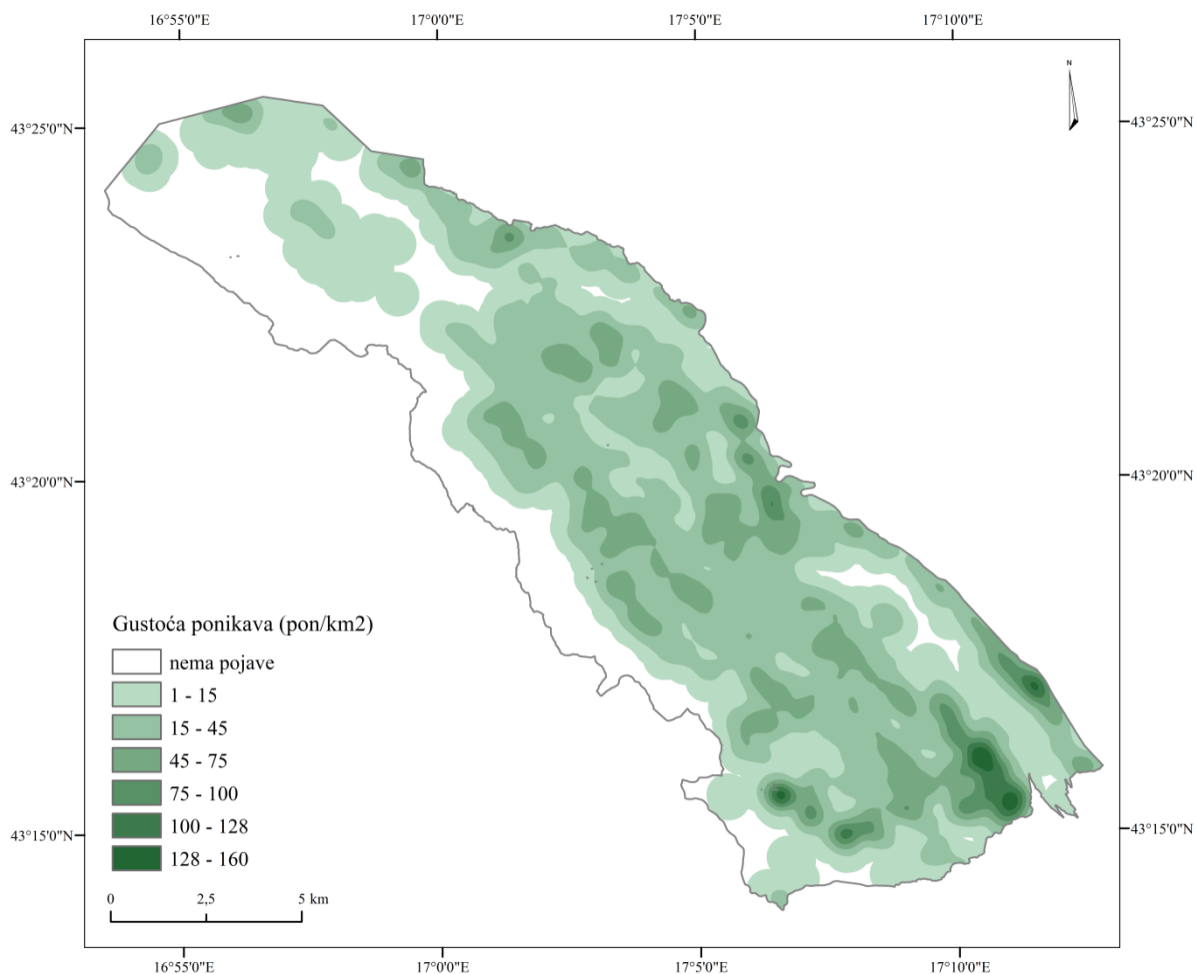
Na području Parka prirode Biokovo utvrđeno je 4200 ponikava (Sl. 12.) koje s površinom područja istraživanja 193,5 km² čine gustoću 21,7 pon/km². Gledajući samo dio područja na kojem su razvijene ponikve površine 156,48 km², gustoća ponikava iznosi 26,8 pon/km². Pojava ponikava je ujednačena na većini istraživanog područja (Sl. 13.), izuzev uskih područja koje nemaju zabilježenu prisutnost pojave, poput jugozapadne primorske padine hrpta i određena područja sjeverozapadnog djela Biokova. Vidljiva su i područja s pojačanom pojavom ponikava s više od 100 pon/km² koja su lokalizirana na nekoliko mjesta, većinom prisutna na jugoistočnom djelu uz samu granicu Parka. Prostorni raspored ponikava u Parku ukazuje na linearno pružanje orijentirano smjerom jugoistok – sjeverozapad. Analizom gustoće ponikava jednostavnom kernel metodom, dobivene su vrijednosti pojave ponikava po km² koje su podjeljene u 7 razreda gustoće, od 0 do 160 pon/km² (Tab. 1.).

Tablica 1. Gustoća ponikava, površina i udio površine po razredima

Gustoća (pon/km ²)	Opis	Površina (km ²)	Udio površine (%)
0	Nema pojave	36,72	19
1 – 15	Neznatna gustoća	60,25	31,18
15 – 40	Mala gustoća	59,28	30,68
40 – 70	Srednja gustoća	30,81	15,95
70 – 100	Velika gustoća	4,23	2,19
100 – 130	Vrlo velika gustoća	1,48	0,77
130 - 160	Izrazito velika gustoća	0,43	0,22



Slika 12. Prostorni razmještaj ponikava PP Biokovo



Slika 13. Gustoća ponikava PP Biokovo

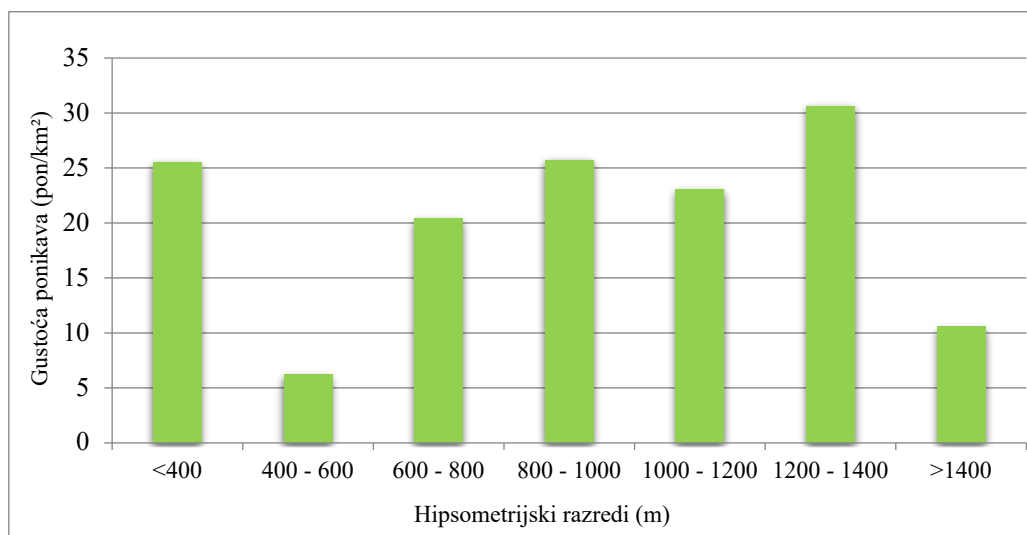
5.2 Odnos pojave ponikava i visina reljefa

Analizom visinskih obilježja Parka prirode Biokovo ustanovljen je raspon visina 86 - 1764 m. Najveće visine, iznad 1600 m, obuhvaćaju vrh Biokova, Sv. Jure i njegovu neposrednu okolinu, dok su najniži djelovi područja raspoređeni oko granica samog parka. Promatrajući kartu hipsometrije (Sl. 15.), jasno se primjećuje dinarski smjer pružanja, JI – SZ, sa širim središnjim dijelom i sužnja na krajnjem jugoistoku, odnosno sjeverozapadu. Za potrebe daljnje analize gustoće ponikava, visine su podijeljene u 7 razreda, od 400 do 1400 metara, pri čemu svaki razred obuhvaća interval od 200 m (Tab. 2.). Najveći udio površine parka zauzima hipsometrijski razred 1200 – 1400 m što je 19,79 % površine. Ponikve su u većem broju zastupljene u svakom visinskom razredu, no njih čak 1171 se nalazi u razredu 1200 – 1400 m što je nešto više od četvrtine ukupnog broja ponikava. Gustoća ponikava u tom razredu je najveća, s 30,63 ponikava po km², a slijedi razred 800 – 1000 m, s 25,73

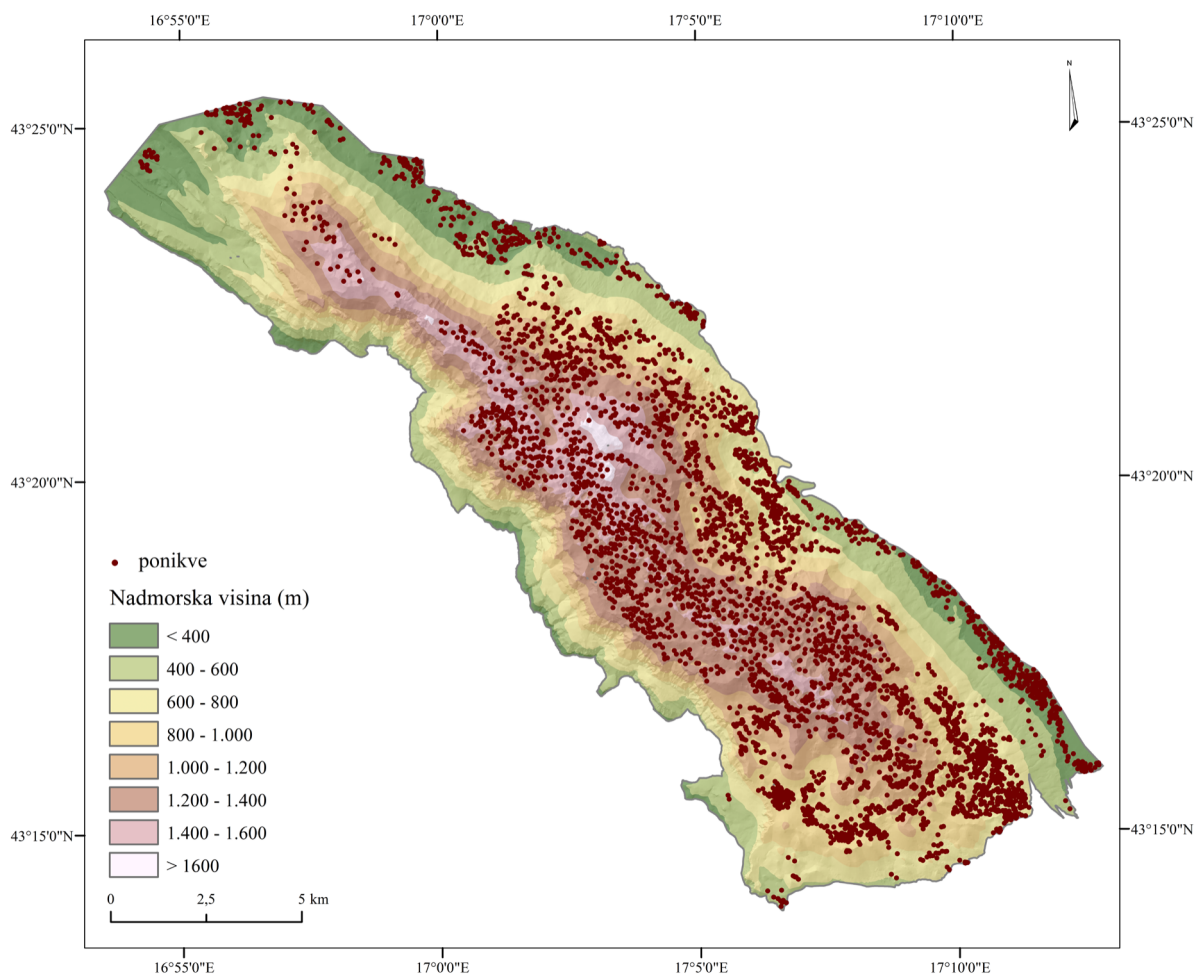
ponikava po km². Najmanju gustoću ponikava imaju područja 400 – 600 m, s tek 6,22 ponikava po km². Histogram distribucije ponikava prema nadmorskoj visini ukazuje na blagi porast 600 – 1400 m nakon čega ide naglo smanjenje pojave (Sl. 14.). Prosječna vrijednost nadmorske visine kartiranih dna ponikava je 963 m.

Tablica 2. Gustoća, udio i broj ponikva po hipsometrijskim razredima

Nadmorska visina (m)	Površina (km ²)	Udio površine (%)	Broj ponikava	Udio ponikava (%)	Gustoća ponikava (pon/km ²)
<400	21,58	11,17	551	13,12	25,54
400 - 600	30,35	15,71	189	4,5	6,22
600 - 800	30,32	15,69	618	14,71	20,4
800 - 1000	31	16,05	798	19	25,73
1000 - 1200	26,57	13,75	613	14,6	23,07
1200 - 1400	38,22	19,78	1171	27,9	30,63
>1400	15,16	7,85	160	6,2	10,55



Slika 14. Gustoća ponikava po hipsometrijskim razredima



Slika 15. Ponikve po hipsometrijskim razredima

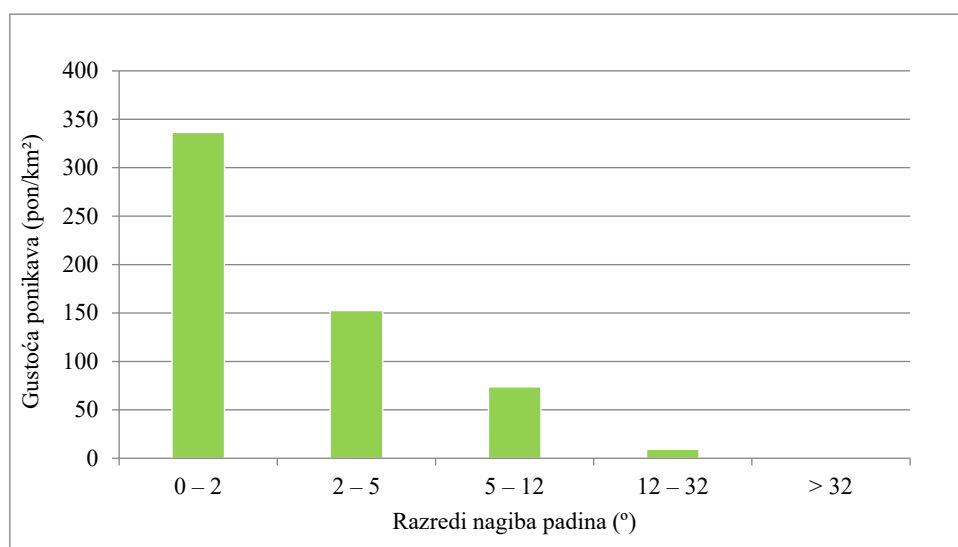
5.3 Odnos pojave ponikava i nagiba padina

Područje Parka prirode Biokovo karakterizira izrazita morfološka heterogenost (Mikac, 2004) što je i potvrđeno analizom nagiba padine koja pokazuje maksimalan nagib od 86° . Područje je kategorizirano u pet razreda nagiba (Tab. 3.), određenih prema pojavi ponikava u svakom od razreda. Tako da se nagibi po razredima kreću od ravnih površina do nagiba većih od 32° (Sl. 17.). Najmanji udio površine čine padine nagiba do 5° (Tab. 3.), dok najveći udio površine zauzimaju padine nagiba $12^\circ - 32^\circ$. Padine nagiba $5^\circ - 12^\circ$ broje najviše ponikava, njih 1355 što je 32% ukupnog broja ponikava. Promatrajući gustoću ponikava po svakom od razreda (Sl. 16.), vidljivo je da je najveća gustoća ponikava zastupljena na padinama do 2° , dok je vrlo mala gustoća zastupljena na strmijim predjelima Biokova, onima većim od 12° . Najveće vrijednosti nagiba su na području primorske padine hrpta te taj dio obuhvaća

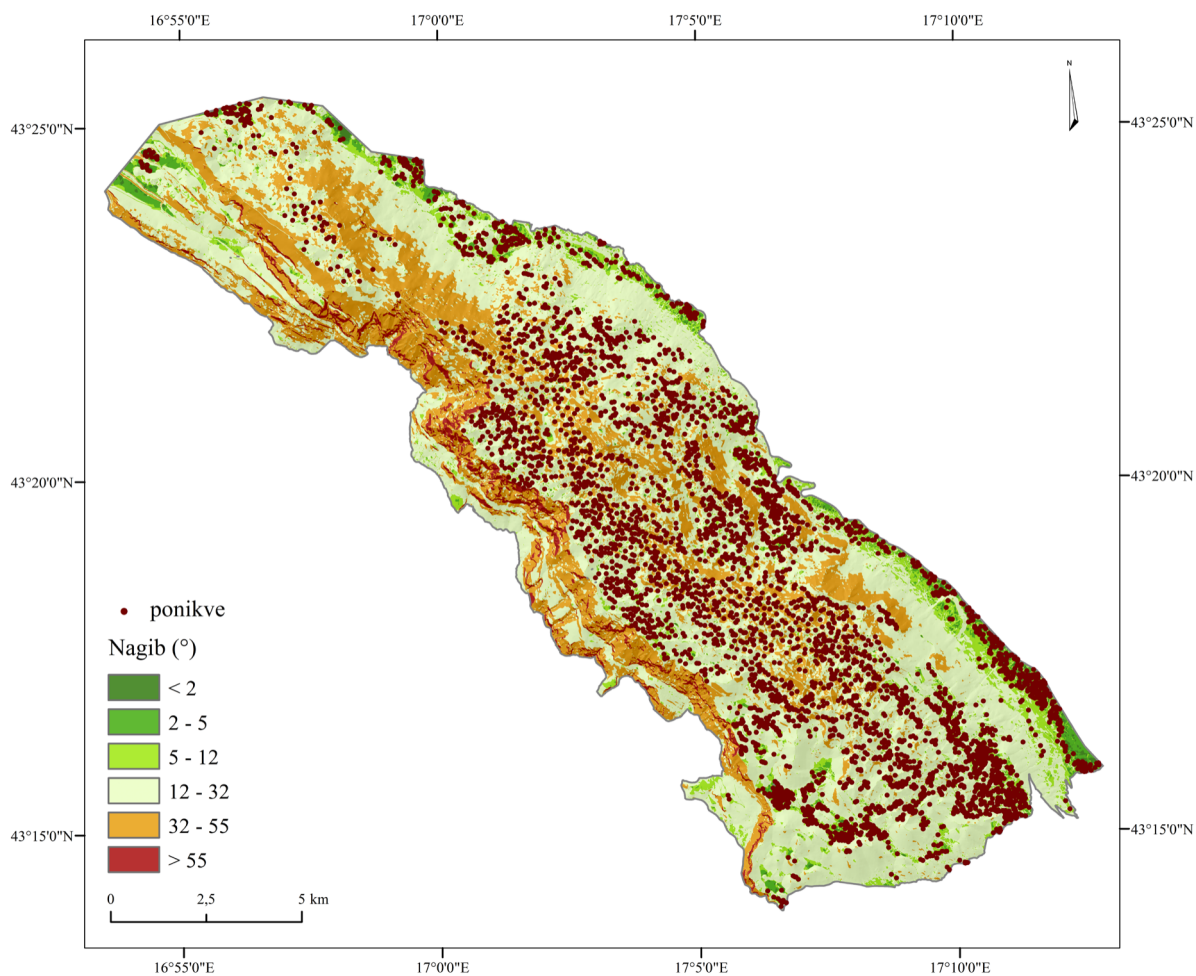
najmanju gustoću ponikava s tek 0,68 ponikava po km². Prosječan nagib padina na kojima je zabilježena pojava ponikava iznosi 8°.

Tablica 3. Gustoća udio i broj ponikava po razredima nagiba padina

Nagib (°)	Površina (km ²)	Udio površine (%)	Broj ponikava	Udio ponikava (%)	Gustoća ponikava (pon/km ²)
0 – 2	2,3	1,19	771	18,36	336,45
2 – 5	6,33	3,28	965	23	152,45
5 – 12	18,4	9,51	1355	32,26	73,72
12 – 32	116,44	60,27	1079	25,7	9,27
> 32	45,26	23,42	31	0,73	0,68



Slika 16. Gustoća ponikava po razredima nagiba padina



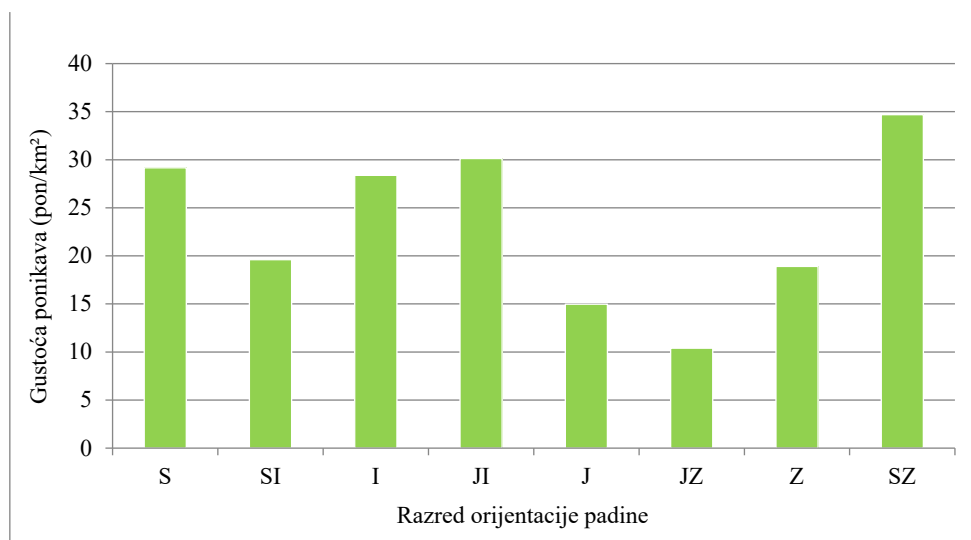
Slika 17. Ponikve po razredima nagiba padina

5.4 Odnos pojave ponikava i ekspozicija padina

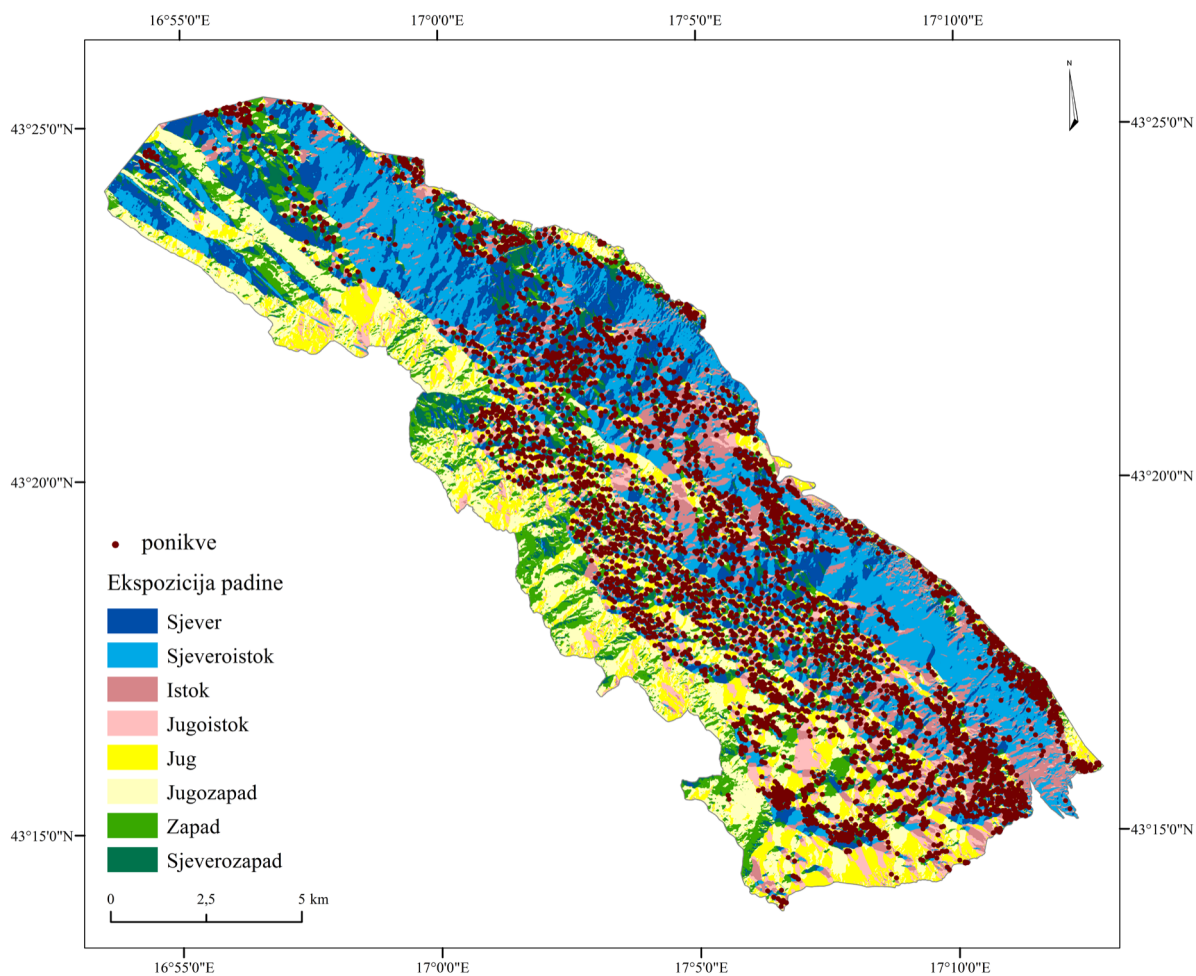
Ekspozicija padine označava orijentaciju padine u odnosu na strane svijeta (Sl. 19.). Najveće udjele površine zastupaju padine orijentacije SI s 23,08% i JZ s 16,3%, dok su obrnuto tome, najmanje zastupljene padine orijentacije SZ i JI s 7,26%, odnosno 7,37% (Tab. 4.). Najveći udio ponikava se nalazi na padinama orijentacije od sjevera prema jugoistoku, gdje nakon toga dolazi do blagog pada udjela, a padine s apsolutnim najvećim brojem ponikava su položene smjerom sjeveroistoka. Gledajući broj ponikava po km^2 , najzastupljeniji razred je sjeverozapadne orijentacije s gustoćom od 34,69 ponikava po km^2 , a apsolutnim brojem od 487 ponikava (Tab. 4.). Najmanja gustoća ponikava se nalazi na padinama orijentiranosti prema JZ s tek 10,4 ponikve po km^2 , a najveća na padinama orijentiranosti prema SZ s 34,7 ponikve po km^2 (Sl. 18.). Srednja vrijednost ekspozicije padine na kojima su zabilježene ponikve iznosi 156° što je smjer JI.

Tablica 4. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima orijentacije padine

Orijentacija	Površina (km ²)	Udio površine (%)	Broj ponikava	Udio ponikava (%)	Gustoća ponikava (pon/km ²)
S	27,57	14,28	804	19,14	29,16
SI	44,59	23,08	874	20,81	19,60
I	20,87	10,8	592	14,09	28,37
JI	14,24	7,37	429	10,21	30,13
J	22,11	11,45	331	7,88	14,97
JZ	31,51	16,3	328	7,81	10,40
Z	18,25	9,44	345	8,21	18,90
SZ	14,04	7,26	487	11,6	34,69



Slika 18. Gustoća ponikava po razredima orijentacije padine



Slika 19. Ponikve po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa

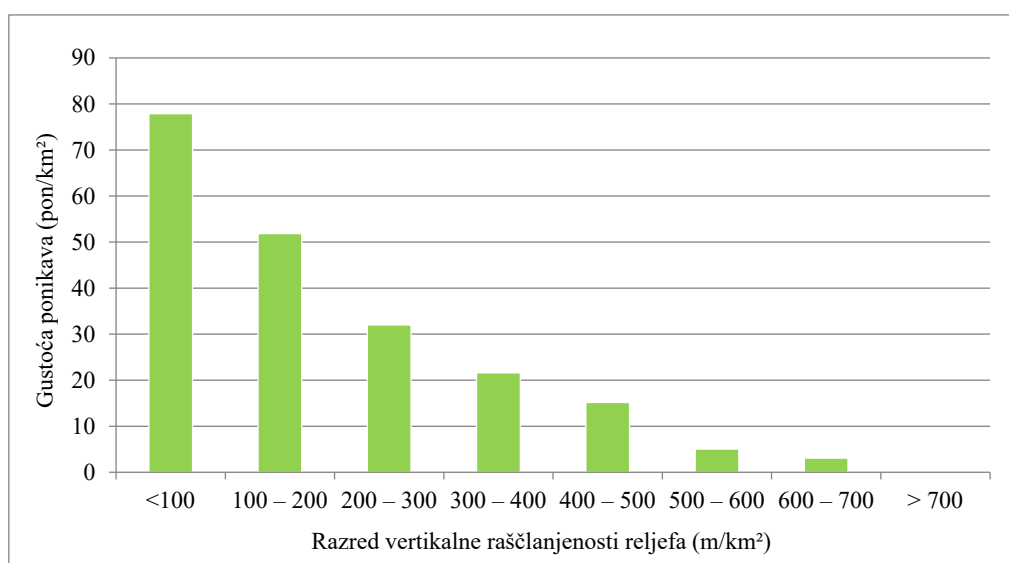
5.5 Odnos pojave ponikava i vertikalne raščlanjenosti reljefa

Vertikalna raščlanjenost ili energija reljefa morfometrijski je parametar reljefa i prikazuje razliku između najniže i najviše točke u jedinici površine (Lozić, 1995). Analiza digitanog modela reljefa je pokazala da je područje Biokova izrazito raščlanjenog reljef s maksimalnim vrijednostima većim od 800 m/km^2 (Sl. 21.). Za potrebe analize u ovom radu, energija reljefa je podjeljena u 8 razreda, a razlika u svakom od razreda je 100 m/km^2 (Tab. 5.). Udjelom površine najveći razred ima vrijednosti $300 - 400 \text{ m/km}^2$, a najmanji pada u razred vrijednosti manjih od 100 m/km^2 . Gledajući apsolutni broj ponikava, prednjači razred $200 - 300 \text{ m/km}^2$, a svega 8 ponikava se nalazi u razredu vrijednosti većih od 700 m/km^2 što čini ukupni udio ponikava neznatnih $0,19\%$. Broj ponikava po km^2 (Sl. 20.), odnosno gustoća ponikava je najveća u područjima s energijom reljefa manjom od 100 m/km^2 te iznosi $77,90$ ponikava po km^2 , nakon čega slijedi razred s energijom reljefa $100 - 200 \text{ m/km}^2$, a gustoćom

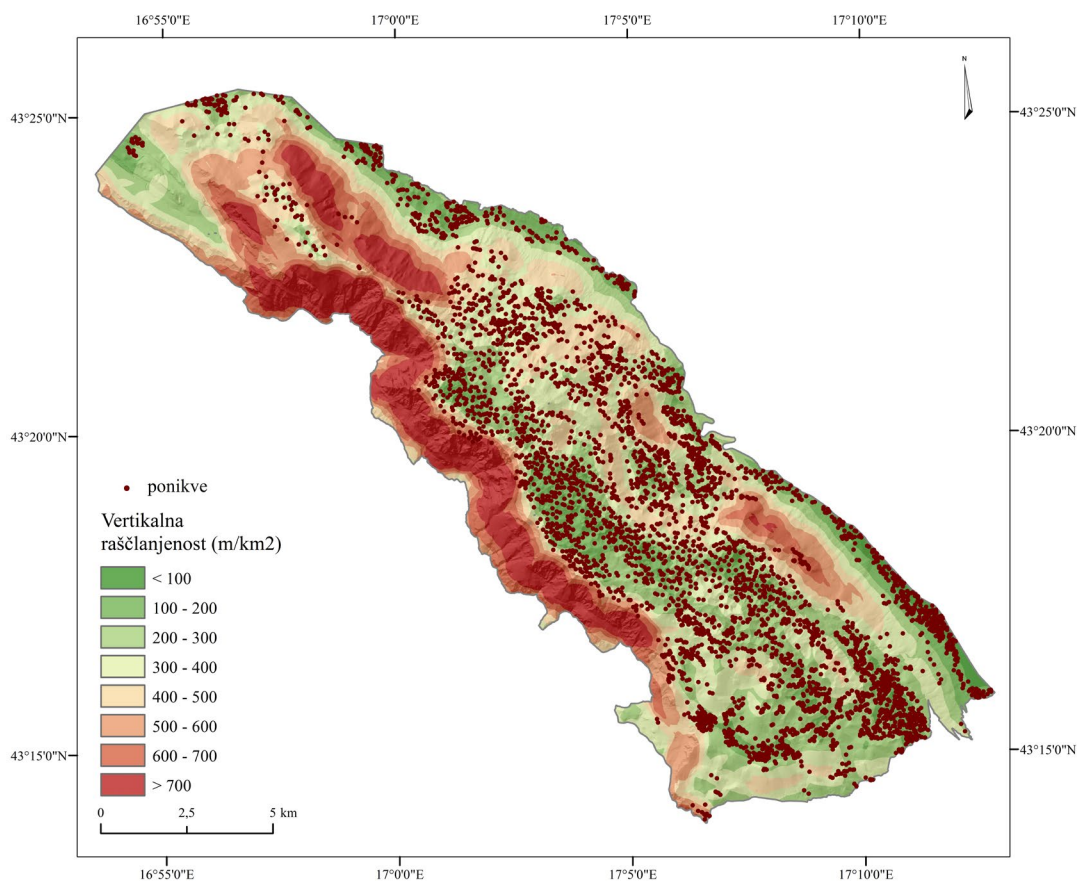
od 52 ponikve po km². Najmanja gustoća ponikava se javlja na područjima čije su vrijednosti preko 700 m/km². Prosječna vrijednost vertikalne raščlanjenosti terena s pojavom ponikava iznosi 122 m/km².

Tablica 5. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa

Vertikalna raščlanjenost (m/km ²)	Površina (km ²)	Udio površine (%)	Broj ponikava	Udio ponikava (%)	Gustoća ponikava (pon/km ²)
<100	2,46	1,28	192	4,57	77,90
100 – 200	21,09	10,91	1093	26,02	51,83
200 – 300	41,7	21,58	1334	31,76	31,99
300 – 400	45,87	23,74	990	23,57	21,58
400 – 500	30,18	15,62	458	10,90	15,17
500 – 600	16,85	8,72	85	2,02	5,04
600 – 700	13,07	6,77	40	0,95	3,06
> 700	21,99	11,39	8	0,19	0,36



Slika 20. Gustoća ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa



Slika 21. Ponikve po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa

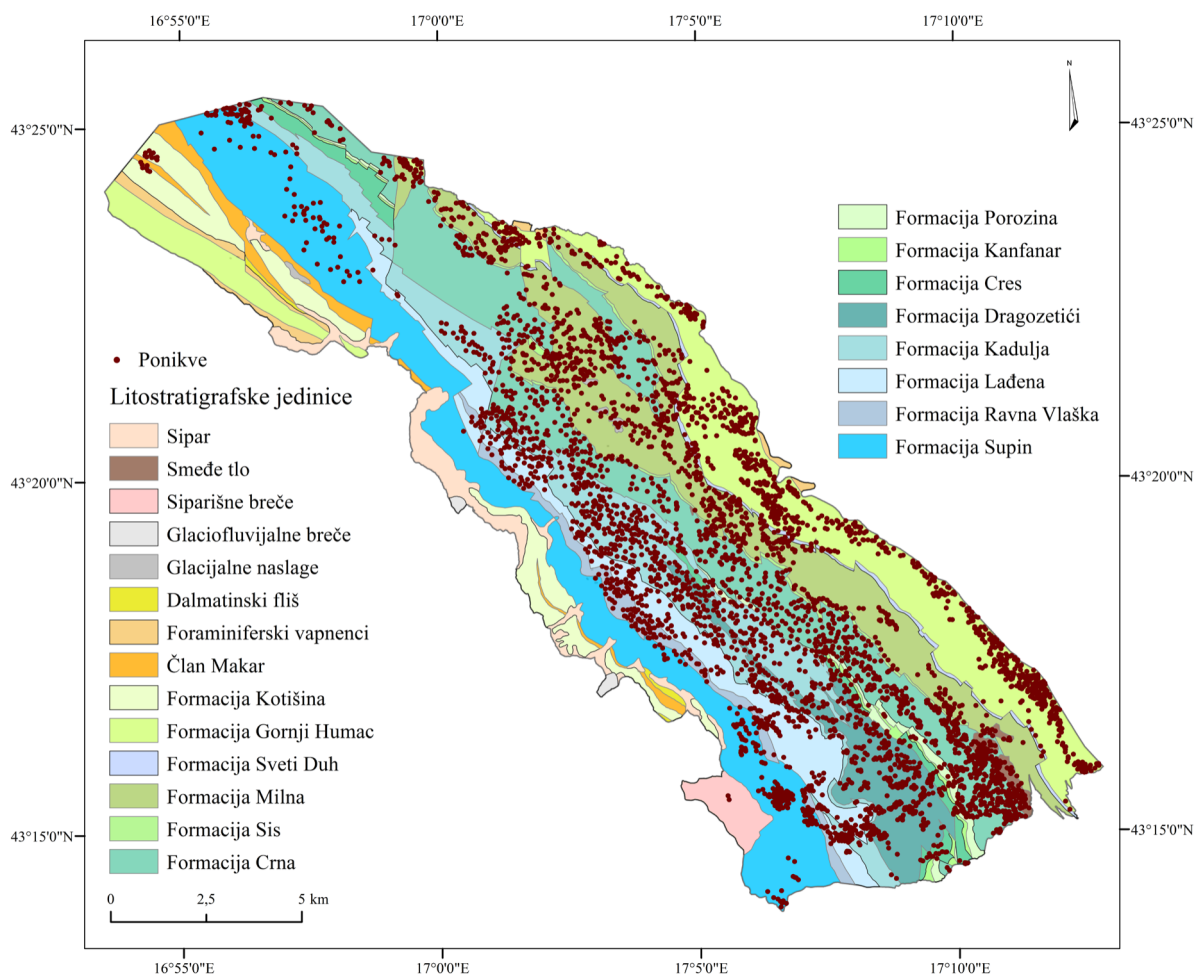
5.6 Utjecaj geološke građe na pojavu ponikava

Promatrajući litostratigrafske jedinice (Fuček i dr., 2022), većinu Parka s udjelom površine od 15,62%, prekriva formacija Crna donjokredne starosti u kojoj prevladavaju tanjeslojeviti vapnenci (Sl. 22.). Udio površine od 15,41% prekriva formacija Supin, srednjojurske starosti, koja je građena od bijelih i sivih vapnenaca i u manjim tragovima dolomita (Tab. 6.). Najmanji udio površine od 0,14% i 0,16% zauzimaju kvartarne naslage, odnosno glaciofluvijalne breče, glacijalne naslage i smeđe tlo sa 0,5% te dalmatinski fliš sa 0,24%. Najveći broj ponikava se pojavljuje na formaciji Crna u kojoj prevladavaju tanjeslojni vapnenci sa 942 ponikve što je 22,42% ukupnog broja ponikava. Slijedi formacija Gornji Humac smeđih i muljnih vapnenaca sa ukupno 755 ponikava što čini 17,97% ukupnog broja. Kvartarne naslage sipara i glaciofluvijalne breče te dalmatinski fliš nemaju zabilježenu pojavu ponikava. Slijede siparišne breče i član Makar sa dvije i foraminiferski vapnenci sa 3 ponikve što je 0,04%, odnosno 0,07% ukupnog broja ponikava. Gustoćom ponikava po km² izdvaja se smeđe tlo na karbonatima sa 76 ponikava, s gustoćom od 80,22 pon/km² (Tab. 6.). Slijedi formacija Dragozetići donje krede u kojoj prevladavaju sivi muljni vapnencci s 34,55

pon/km². Najmanju zabilježenu gustoću ponikava imaju siparišne breče i član Makar na kojem su smeđi konglomerati i vapnenci sa 0,88, odnosno 0,57 pon/km².

Tablica 6. Gustoća, udio i broj ponikava po litostratigrafskim jedinicama

Opis	Litostratigrafska jedinica	Period	Udio površine (%)	Broj ponikava	Udio ponikava (%)	Gustoća ponikava (pon/km ²)
Loše sortirano kršje	Siparišne breče	Kvartar	1,17	2	0,04	0,88
Recentni sipari	Sipar	Kvartar	2,64	0	0	0,00
Svijetli zrnasti vapnenci	Formacija Kotišina	Gornja kreda	4,36	15	0,35	1,78
Izmjena pješčenjaka silta i lapora	Dalmatinski fliš	Paleogen	0,24	0	0	0,00
Smeđi konglomerati i vapnenci	Član Makar	Paleogen	1,82	2	0,04	0,57
Klastopotporne breče	Glaciofluvijalne breče	Kvartar	0,16	0	0	0,00
Debeloslojni foraminiferski vapnenci	Foraminiferski vapnenci	Paleogen	1,03	3	0,07	1,50
Slabo sortirane morene	Glacijalne naslage	Kvartar	0,14	7	0,16	24,62
Muljni i zrnasti vapnenci	Formacija Milna	Gornja kreda	14,17	655	15,59	23,89
Tanjeslojni vapnenci	Formacija Crna	Donja kreda	15,62	942	22,42	31,18
Laminirani tamni vapnenci	Formacija Porozina	Donja kreda	1,02	60	1,42	30,31
Debeloslojni muljni vapnenci	Formacija Kanfanar	Donja kreda	0,59	18	0,42	15,56
Svjetlosmeđi muljni vapnenci	Formacija Cres	Donja kreda	1,83	62	1,47	17,51
Masivni zrnasti vapnenci	Formacija Kadulja	Gornja jura	10,01	573	13,64	29,60
Smeđi muljni vapnenci	Formacija Lađena	Gornja jura	6,19	242	5,76	20,20
Bijeli i sivi vapnenci i rjeđe dolomiti	Formacija Supin	Srednja jura	15,41	258	6,14	8,66
Laminirani dolomiti	Formacija Sis	Donja kreda	0,73	46	1,09	32,19
Muljni vapnenci s klacisferama	Formacija Sveti Duh	Gornja kreda	0,89	40	0,95	23,11
Muljni vapnenci s ooidima	Formacija Ravna vlaška	Gornja jura	2,11	128	3,04	31,26
Sivi muljni vapnenci	Formacija Dragozetići	Donja kreda	4,74	317	7,54	34,55
Smeđe tlo na karbonatima	Smeđe tlo	Kvartar	0,49	76	1,8	80,22
Smeđi muljni vapnenci	Formacija Gornji Humac	Gornja kreda	14,54	755	17,97	26,85

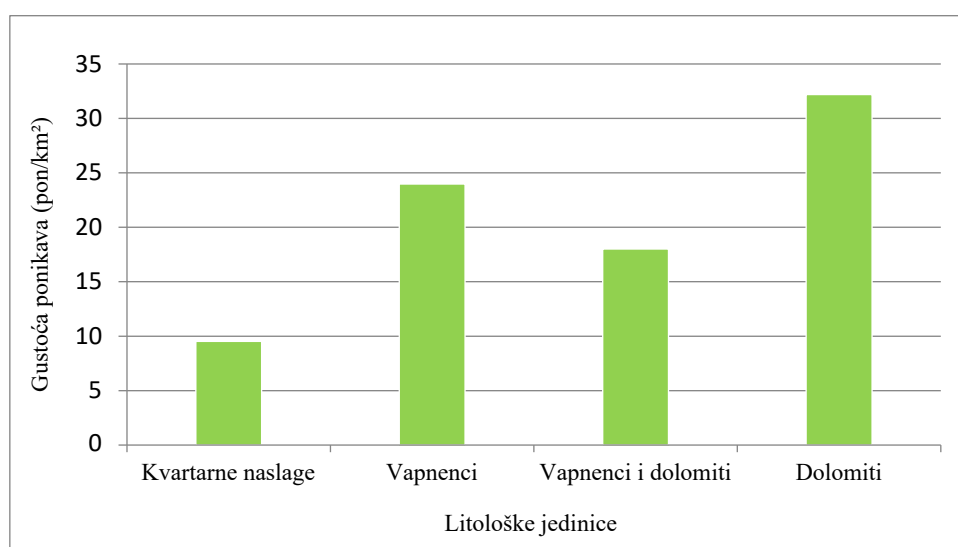


Slika 22. Ponikve po litostratigrafskim jedinicama

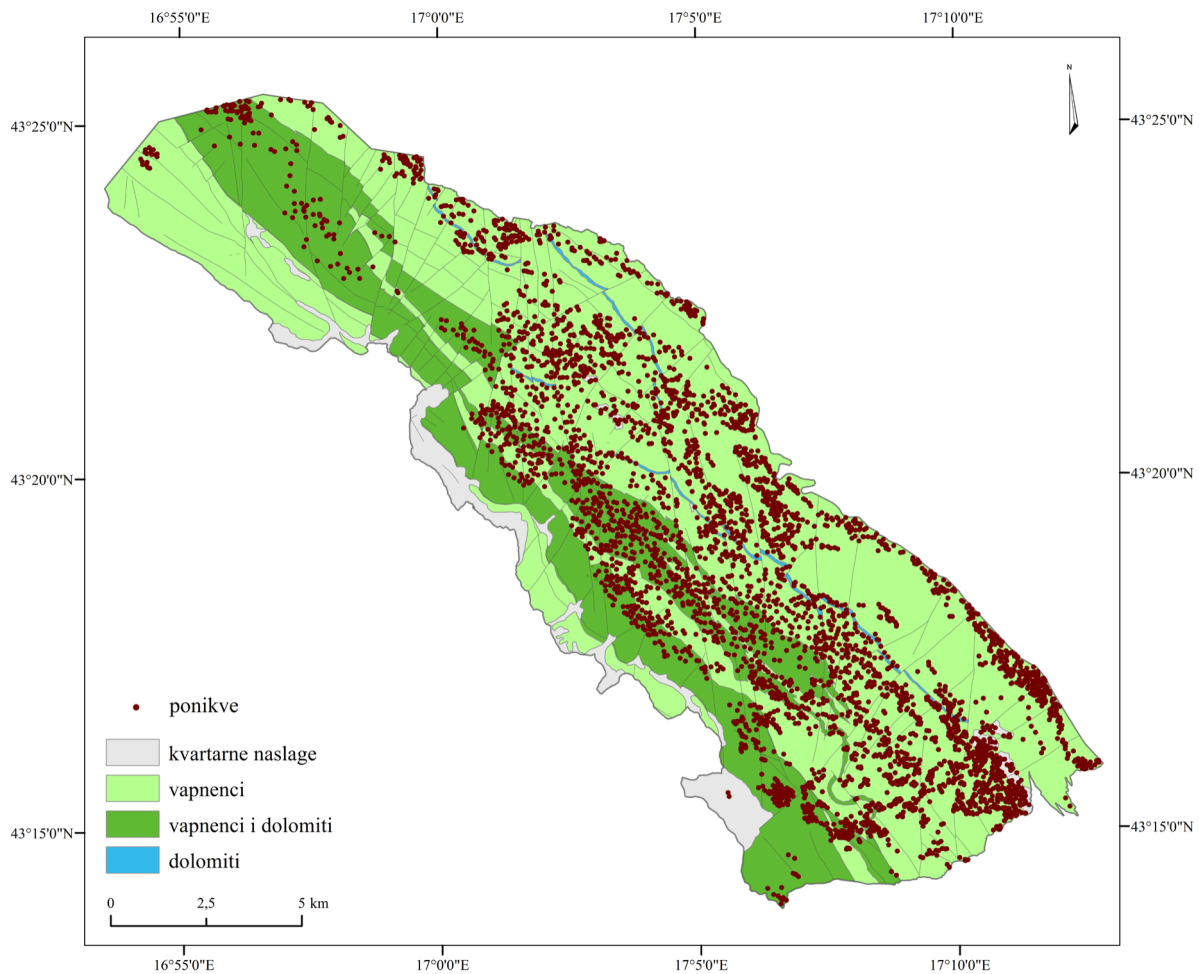
S ciljem pojednostavljenja i lakšeg tumačenja podataka, izvršene su dvije generalizacije i kategoriziranje geološke građe prema litološkim karakteristikama (Sl. 24.) i starosti stijena (Sl. 26.). Promatrajući podatke po litološkim jedinicama, utvrđeno je da najveći dio površine prekrivaju vapnenci sa 129,74 km² što je 67,1% ukupne površine (Tab. 7.). Slijede vapnenci i dolomiti sa 53,25 km² i 27% udjela površine. Površinom su najmanje zastupljeni dolomiti s tek 1,42 km² što je samo 0,74% površine. Brojem ponikava se ističu vapnenci s 3111 ponikvom što je gotovo 75% ukupnog broja ponikava. Slijede vapnenci i dolomiti sa 959 ponikava, a najmanji broj se nalazi na dolomitima, tek njih 46 što čini udio od 1% ukupnog broja ponikava. Nasuprot tome, najveću gustoću ponikava po km² nalazimo na dolomitima s 32,19 pon/km² (Sl. 23.). Slijede vapnenci s 23,97 pon/km², a najmanja gustoća je zabilježena na kvartarnim naslagama s 9,52 pon/km².

Tablica 7. Gustoća, udio i broj ponikava po litološkim jedinicama

Litološke jedinice	Površina (km ²)	Udio površine (%)	Broj ponikava	Udio ponikava (%)	Gustoća (pon/km ²)
Kvartarne naslage	8,93	4,61	85	2,02	9,52
Vapnenci	129,74	67,1	3111	74,07	23,97
Vapnenci i dolomiti	53,25	27,54	959	22,83	18
Dolomiti	1,42	0,74	46	1,09	32,19



Slika 23. Gustoća ponikava po litološkim jedinicama

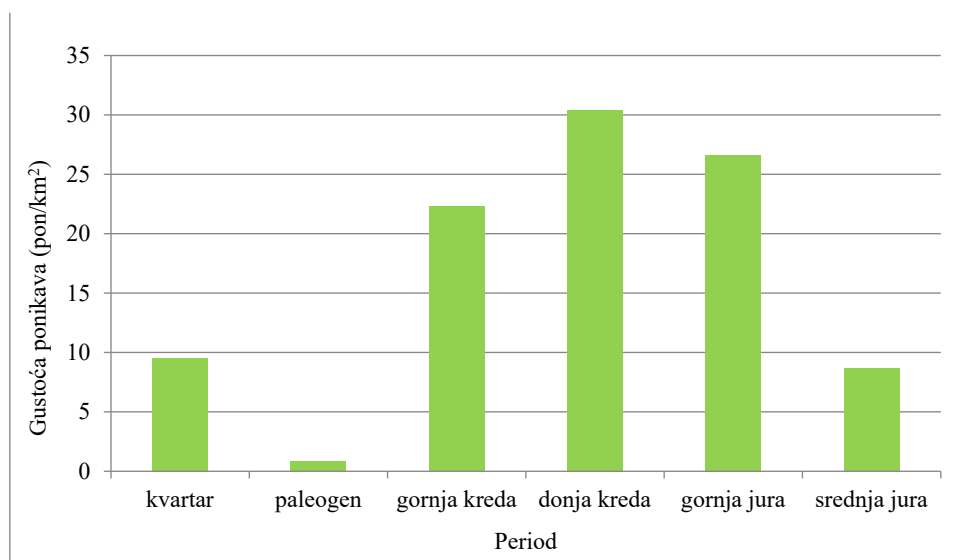


Slika 24. Ponikve po litološkim jedinicama

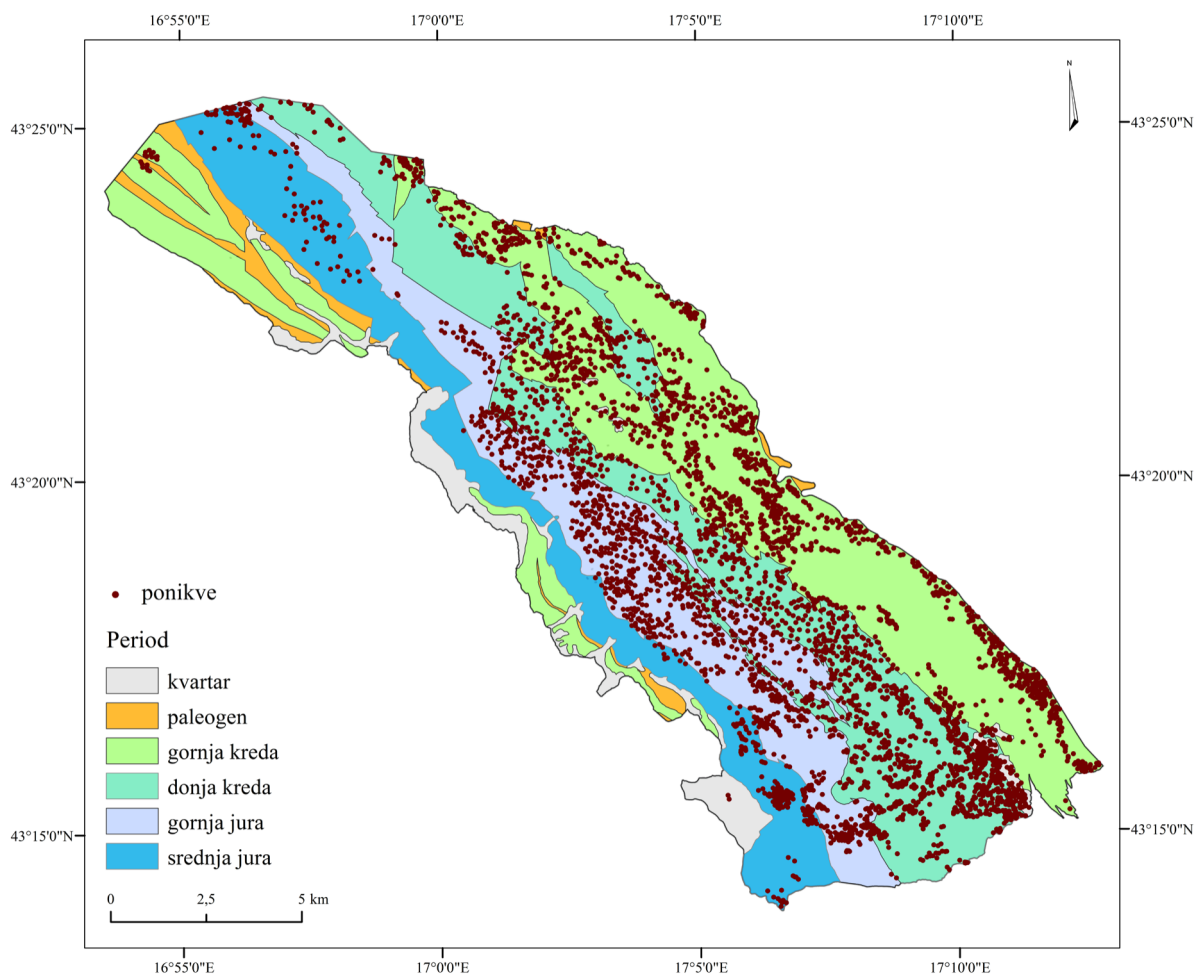
Promatrajući podatke geološke starosti, najveću površinu Parka prekrivaju naslage gornje krede s 65,7 km² što je 33,98% ukupne površine (Tab. 8.). Slijede naslage donje krede s 47,49 km² odnosno 24,56% ukupne površine. Najmanji udio površine zauzimaju naslage kvartara i paleogena s 4,61%, odnosno 3,1%. Najveći broj ponikava je razvijen na naslagama gornje i donje krede sa 1445 i 1465 ponikava što zajedno čini 70% ukupnog broja ponikava na području Parka. Slijedi gornja jura s ukupno 943 ponikve. Ponikve su u najmanjem broju razvijene na naslagama paleogena gdje samo njih 5 čini 0,11% ukupne površine. Gustoćom ponikava po km² (Sl. 25.) prednjače naslage donje krede sa svega 30,43 pon/km², a slijede naslage gornje jure s 26,62 pon/km² i naslage gornje krede s 22,29 pon/km². Najmanju gustoću broje naslage paleogena s 0,83 pon/km².

Tablica 8. Gustoća, udio i broj ponikava po geološkim periodima

Period	Površina (km ²)	Udio površine (%)	Broj ponikava	Udio ponikava (%)	Gustoća (pon/km ²)
kvartar	8,92	4,61	85	2,02	9,52
paleogen	5,99	3,1	5	0,11	0,83
gornja kreda	65,7	33,98	1465	34,88	22,29
donja kreda	47,49	24,56	1445	34,4	30,43
gornja jura	35,42	18,32	943	22,45	26,62
srednja jura	29,8	15,41	258	6,14	8,66



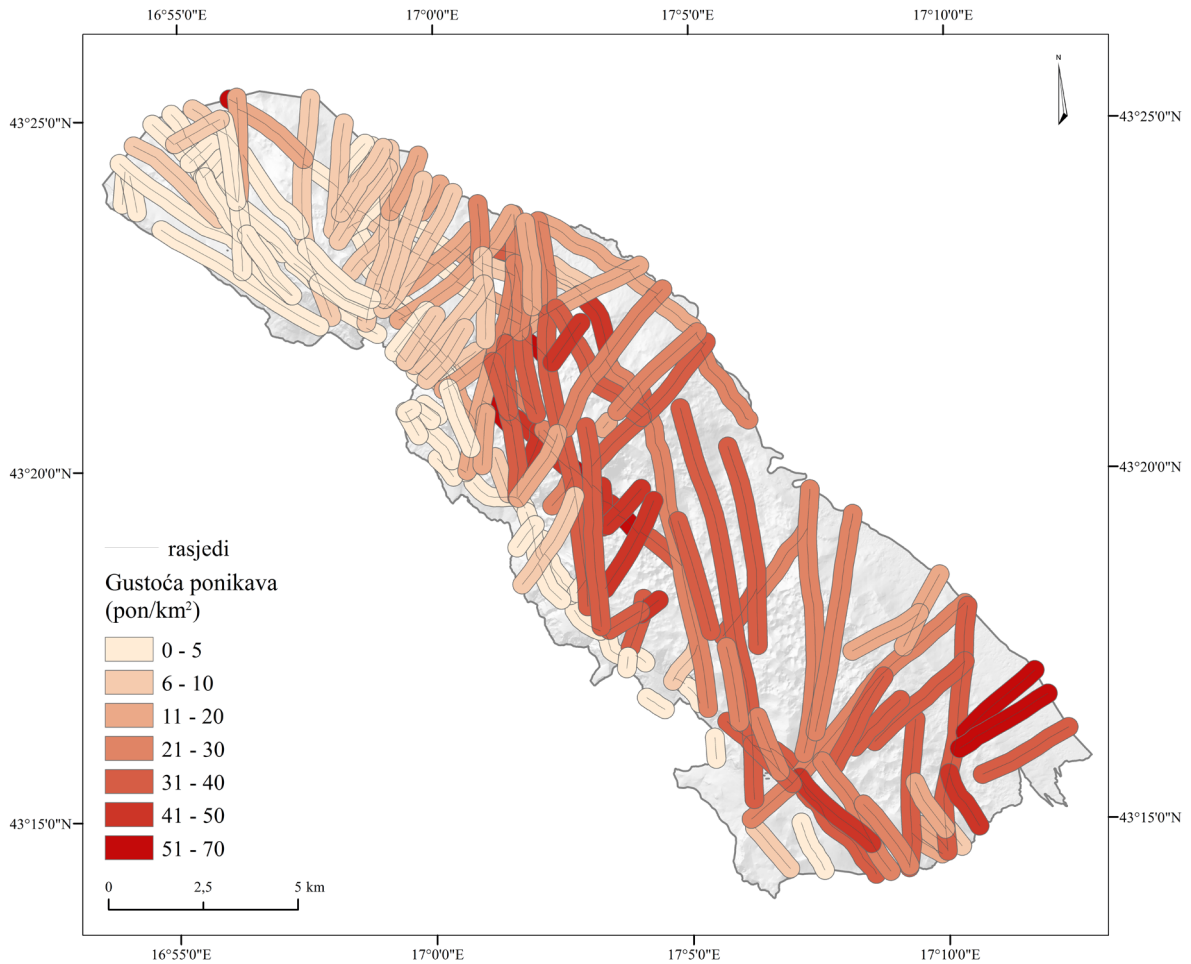
Slika 25. Gustoća ponikava po geološkim periodima



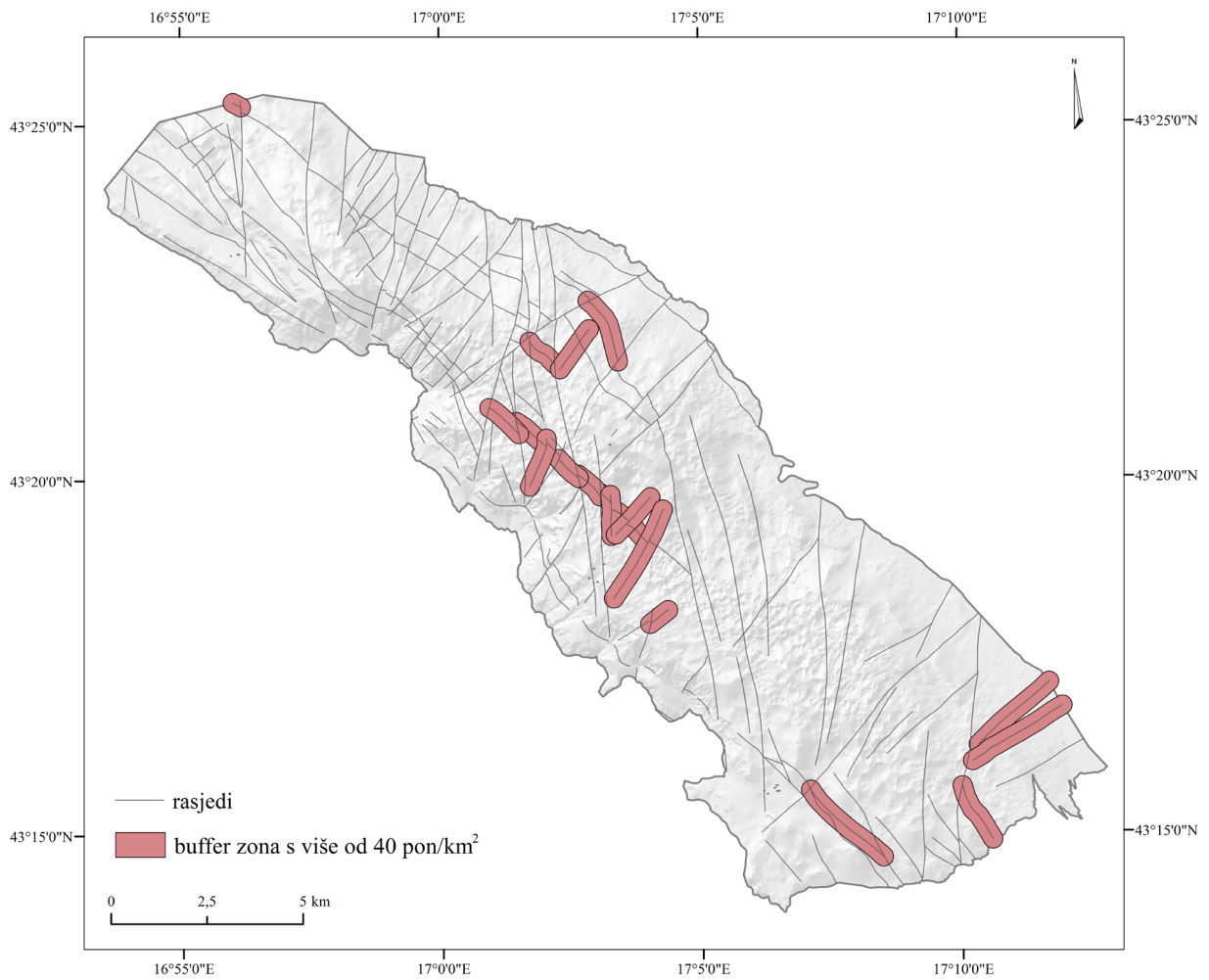
Slika 26. Ponikve po geološkoj starosti

Analiza rasjeda prikazuje da se na području Parka nalazi veliki broj rasjeda, nešto gušće raspoređenih na sjeverozapadnom dijelu Biokova (Sl. 9.). Orijentacija rasjeda je uglavnom JI – SZ, SI – JZ i nešto manje zastupljeno S – J. Analizom srednje vrijednosti smjera pružanja dobiven je pravac smjera JI – SZ kao dominantni smjer pružanja rasjeda što se poklapa s dinarskim pravcem pružanja. Određivanjem *buffer* zone od 250 m oko svakog rasjeda, utvrđene su 4002 ponikve što znači da se 95% ponikava na području Parka nalazi u zonama 250 m od svakog rasjeda. Analizirana je gustoća ponikava po km² unutar svake zone te gradijalnom simbolizacijom označen je intezitet pojave (Sl. 27.). *Buffer* zone s većom gustoćom ponikava su prisutniji na centralnom i jugoistočnom djelu Biokova. Zone s manjom gustoćom su prisutne na primorskim padinama hrpta i na sjeverozapadnom dijelu Parka. Izdvajanjem zona s visokom gustoćom ponikava (Sl. 28.), odnosno gustoćom od 40 pon/km² i više, dobiveno je 20 *buffer* zona koje se nalaze na jugoistočnom dijelu Parka uz granicu, centralnom dijelu te jedna *buffer* zona na sjeveroistočnom djelu. Sedam njih je orijentirano

pravcem SI – JZ, dok je ostalih 13 orijentirano pravcem JI – SZ. Provedena je korelacija gustoće ponikava i gustoće rasjeda. Iznosi $-0,117$, a p -vrijednost je $0,000$. Korelacija gustoće ponikava i njihove udaljenosti od rasjeda daje rezultat od $0,126$, a p -vrijednost od $0,000$.



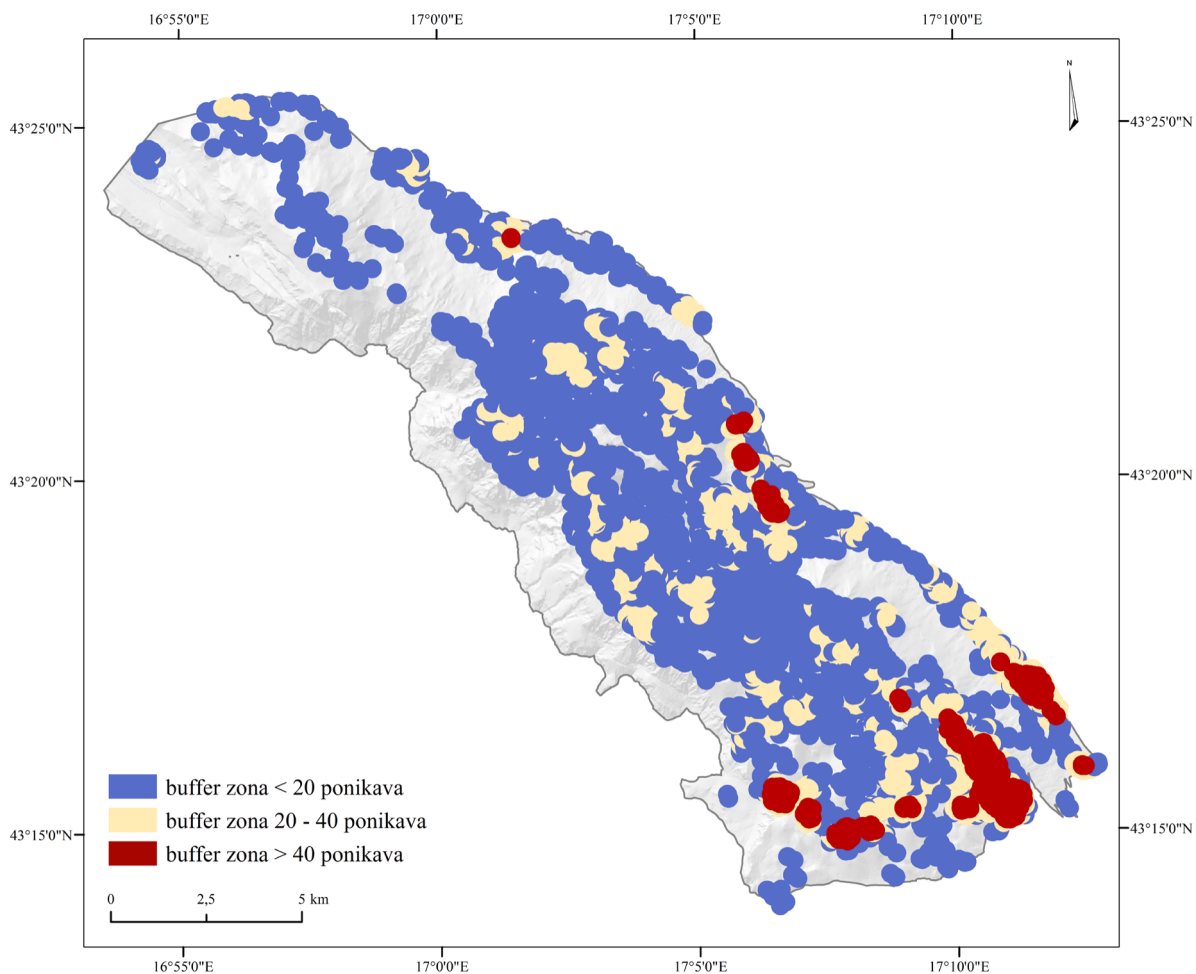
Slika 27. Gustoća ponikava unutar *buffer* zona rasjeda



Slika 28. Izdvojene *buffer zone* s visokom gustoćom ponikava

5.7 Analiza susjedstva

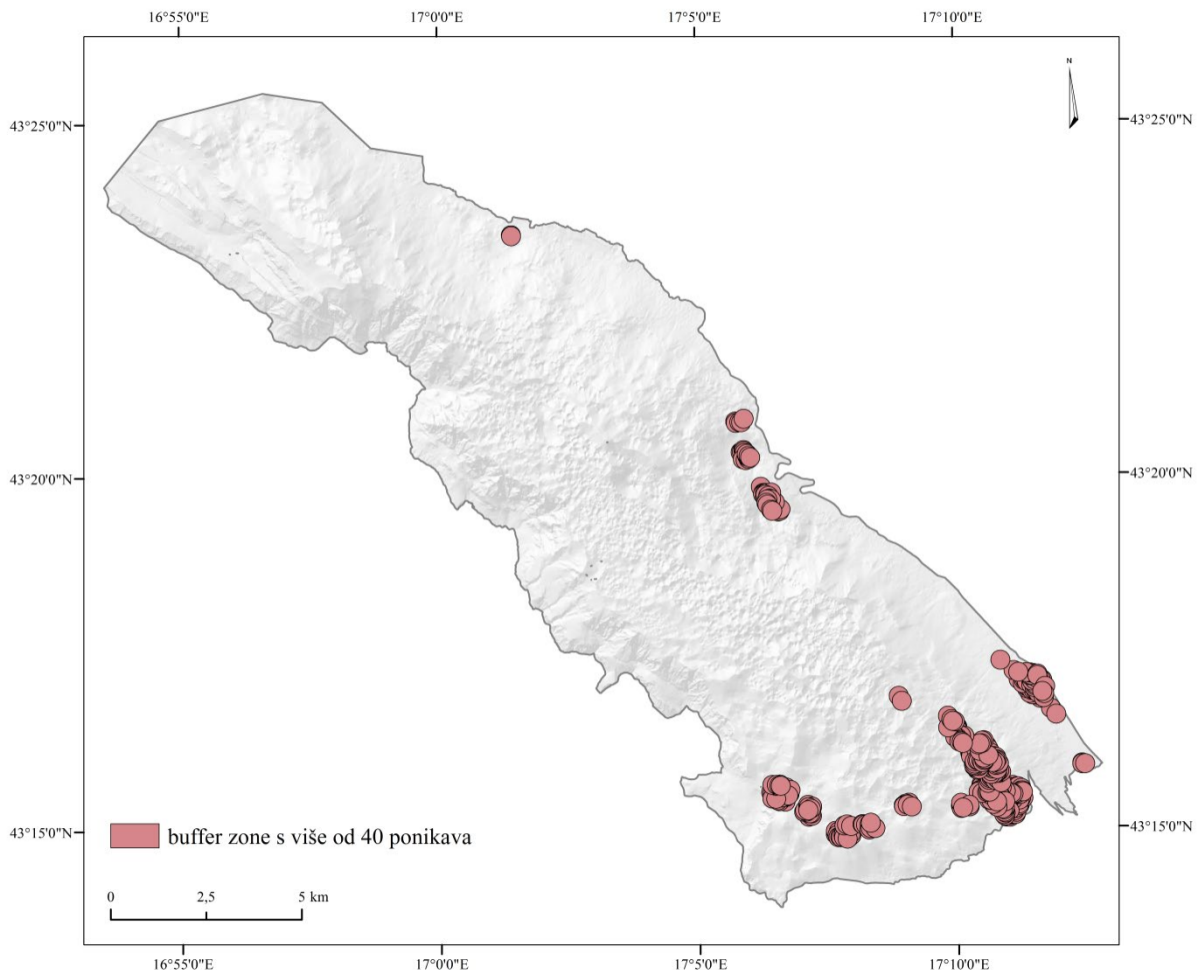
U sklopu analize gustoće ponikava na području Parka generirani su koncentrični krugovi radijusa od 250 m oko svake ponikve (Sl 29.). Dobiveno je 4200 koncentričnih krugova te je u svakom krugu analiziran broj ponikava koje obuhvaća.



Slika 29. Gustoća ponikava po *buffer* zonama ponikava

Izdvojeni su krugovi u kojima ima najveći broj ponikava, odnosno oni krugovi čije ponikve imaju najveći broj susjeda s vrijednostima većim od 40 ponikava (Sl. 30.). Analiza pokazuje da se ponikve s najveći brojem susjeda nalaze u jugoistočnom dijelu Biokova uz granicu Parka i leže na vapnenenačkim i nešto manje dolomitskim naslagama. Pomoću *buffer* zona izračunate su srednje vrijednosti morfometrijskih parametara te je provedena matematička korelacija s gustoćom ponikava kako bi se dobio uvid u karakteristike terena koji okružuje ponikve, odnosno morfometrija njihovog okruženja te sam utjecaj na pojavu ponikava. Analizom korelacije gustoće ponikava i vrijednosti morfometrijskih parametara unutar svake *buffer* zone, kojih je više od 4100, dobiveni su podaci Pearsonove korelacije. Korelacija gustoće i nadmorske visine iznosi $-0,228$, a p -vrijednost iznosi $0,000$. Korelacija gustoće ponikava i nagiba padine iznosi $-0,373$, a p -vrijednost $0,000$. Korelacija gustoće i ekspozicije padine iznosi $0,019$ dok p -vrijednosti iznosi $0,232$. Korelacija vertikalne raščlanjenosti iznosi $-0,501$, a p -vrijednost iznosi $0,000$. Srednja vrijednost nagiba svih *buffer*

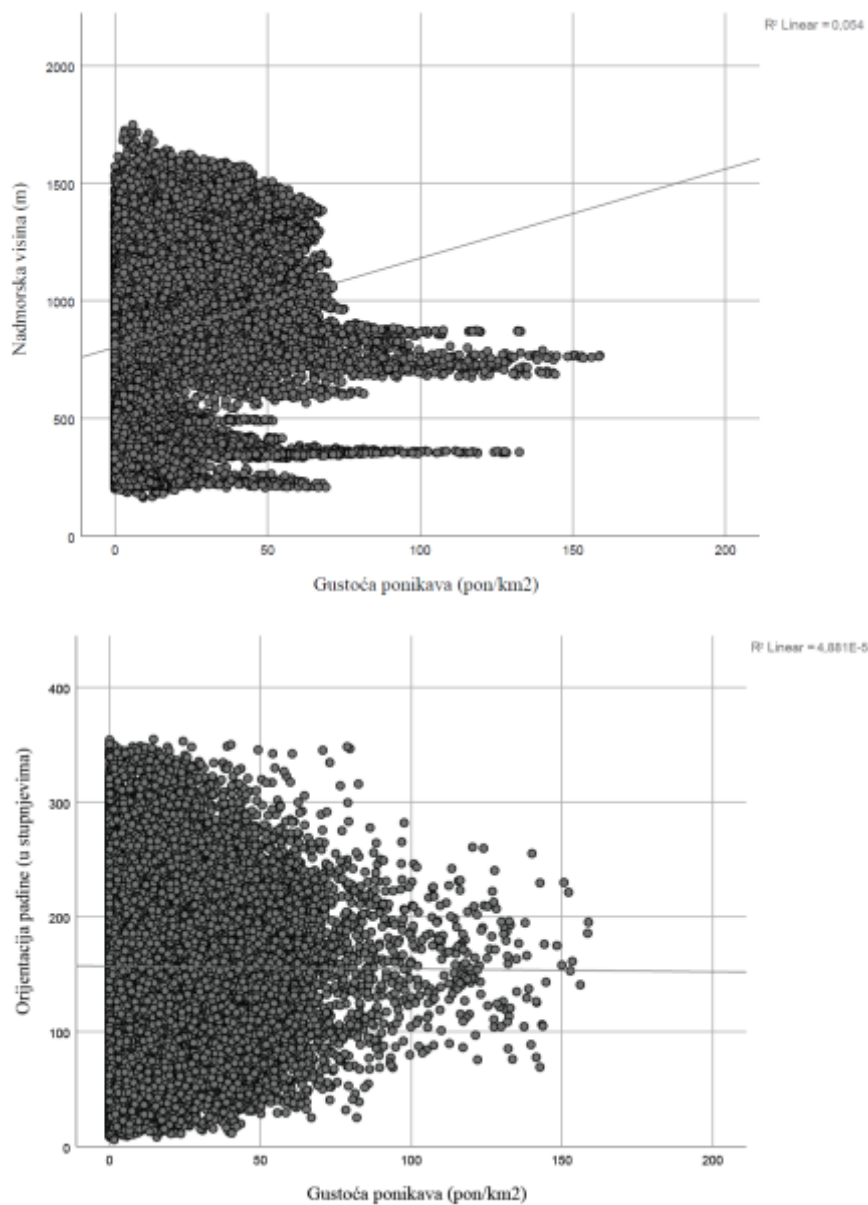
zona, odnosno okolnog područja od 250 m svake ponikve iznosi $18,93^\circ$, a srednja vrijednost nadmorske visine 965,63 m. Srednja vrijednost ekspozicije padine je $160,19^\circ$ (JI), dok je srednja vrijednost vertikalne raščlanjenosti područja uz ponikve $125,71 \text{ m/km}^2$.



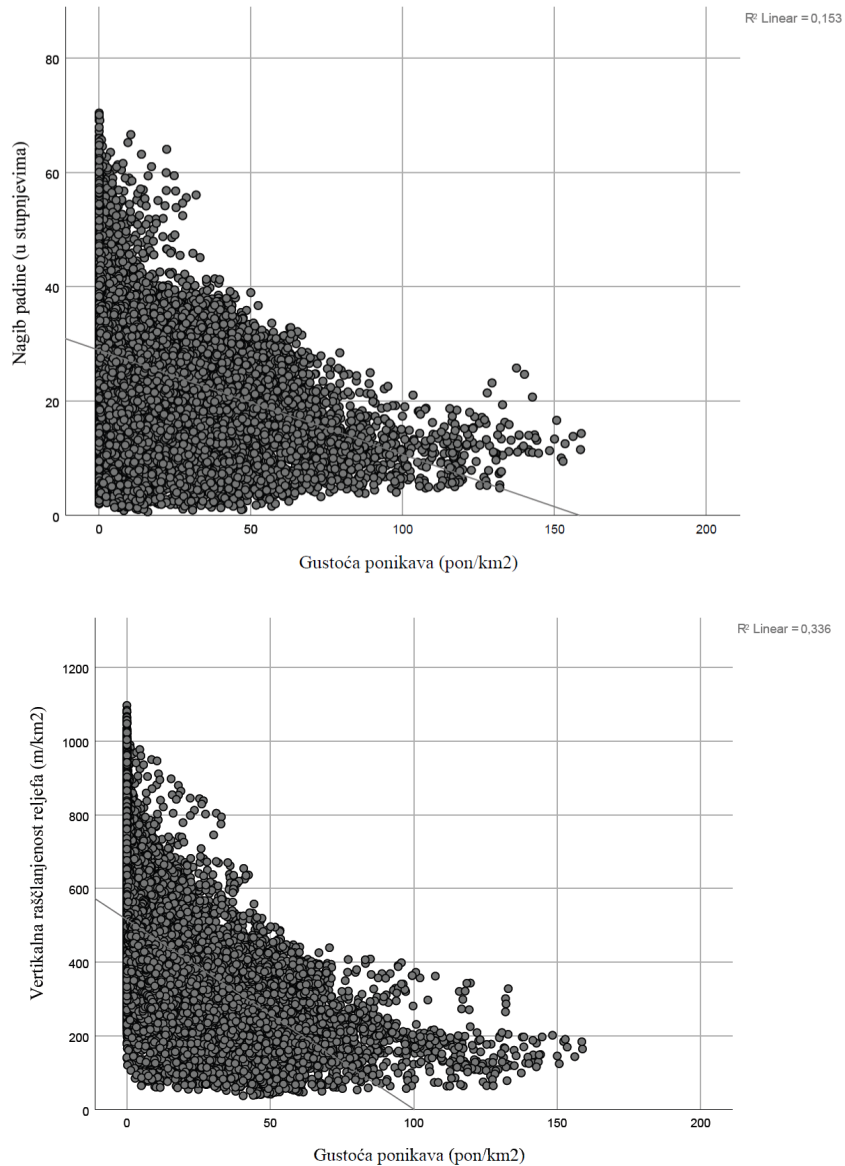
Slika 30. Izdvojene *buffer zone* s više od 40 ponikava

Radi proširenja analize gustoće ponikava i cilja usporedbe s rezultatima korelacije gustoće i morfometrije *buffer zone* oko ponikava, kreirana je mreža kvadrata veličine 100 m koje pokriva područje cijelog Parka te su time dobiveni rezultati korelacije na dvije različite prostorne skale. Dobiveni su rezultati Pearsonove korelacije i pripadajući *Scatter-plot* dijagrami (Sl. 31., Sl. 32.). Korelacija gustoće i nadmorske visine iznosi 0,232, a *p*-vrijednost iznosi 0,000. Dijagram daje vrijednost R^2 od 0,054 (Sl. 31.). Korelacija gustoće ponikava i nagiba padine iznosi -0,391, a *p* vrijednost 0,000. R^2 vrijednost iznosi 0,153 (Sl. 32.). Korelacija vertikalne raščlanjenosti iznosi -0,579, a *p* vrijednost iznosi 0,000. Dijagram daje

vrijednost R^2 od 0,336 (Sl. 32.). Korelacija gustoće i ekspozicije padine iznosi -0,007 dok p vrijednosti iznosi 0,325. Dijagram daje vrijednost R^2 od $4,881E^{-5}$ (Sl. 31.).



Slika 31. Dijagram gustoće ponikava i nadmorske visine (gore) i dijagram gustoće ponikava i orijentacije padine (dolje)

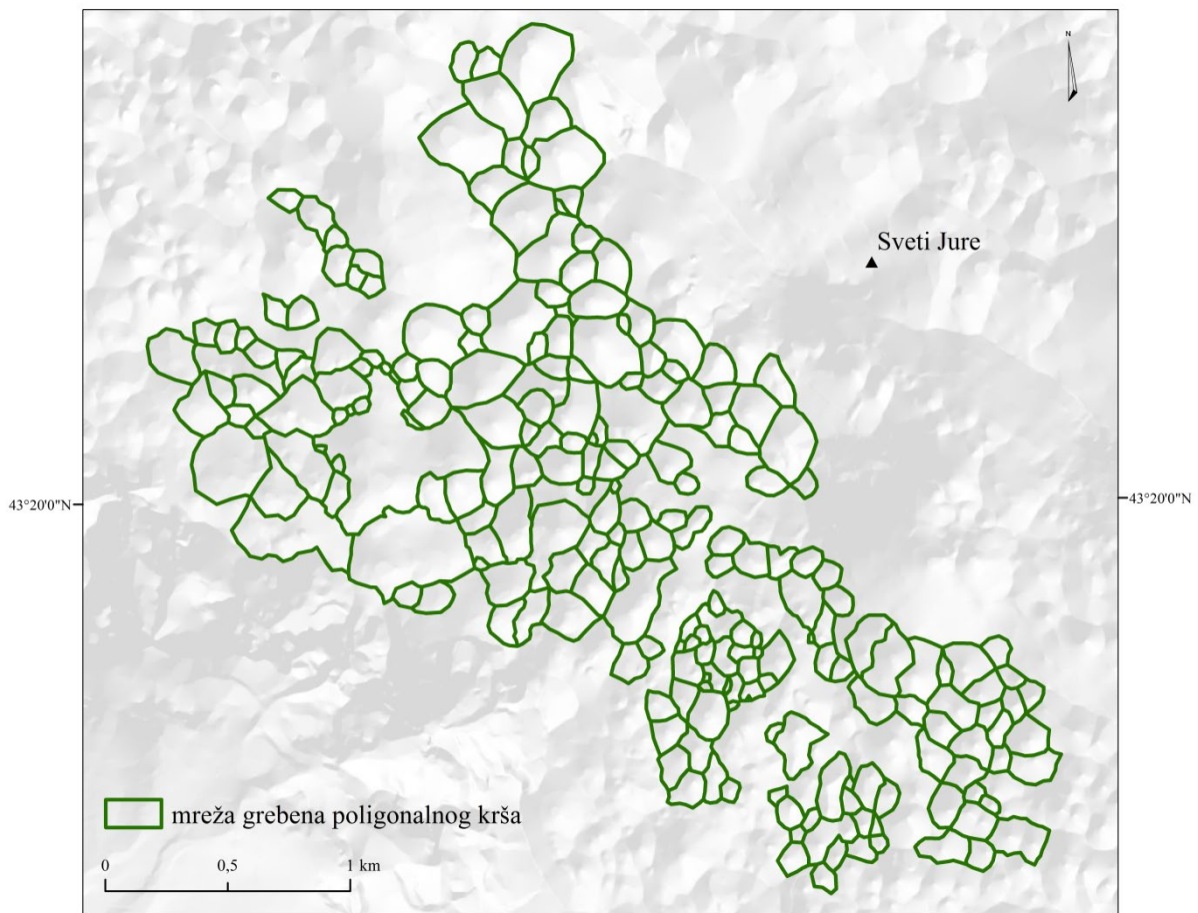


Slika 32. Dijagram gustoće ponikava i nagiba padine (gore) i dijagram gustoće ponikava i vertikalne raščlanjenosti (dolje)

5.8 Morfometrijska analiza ponikava poligonalnog krša

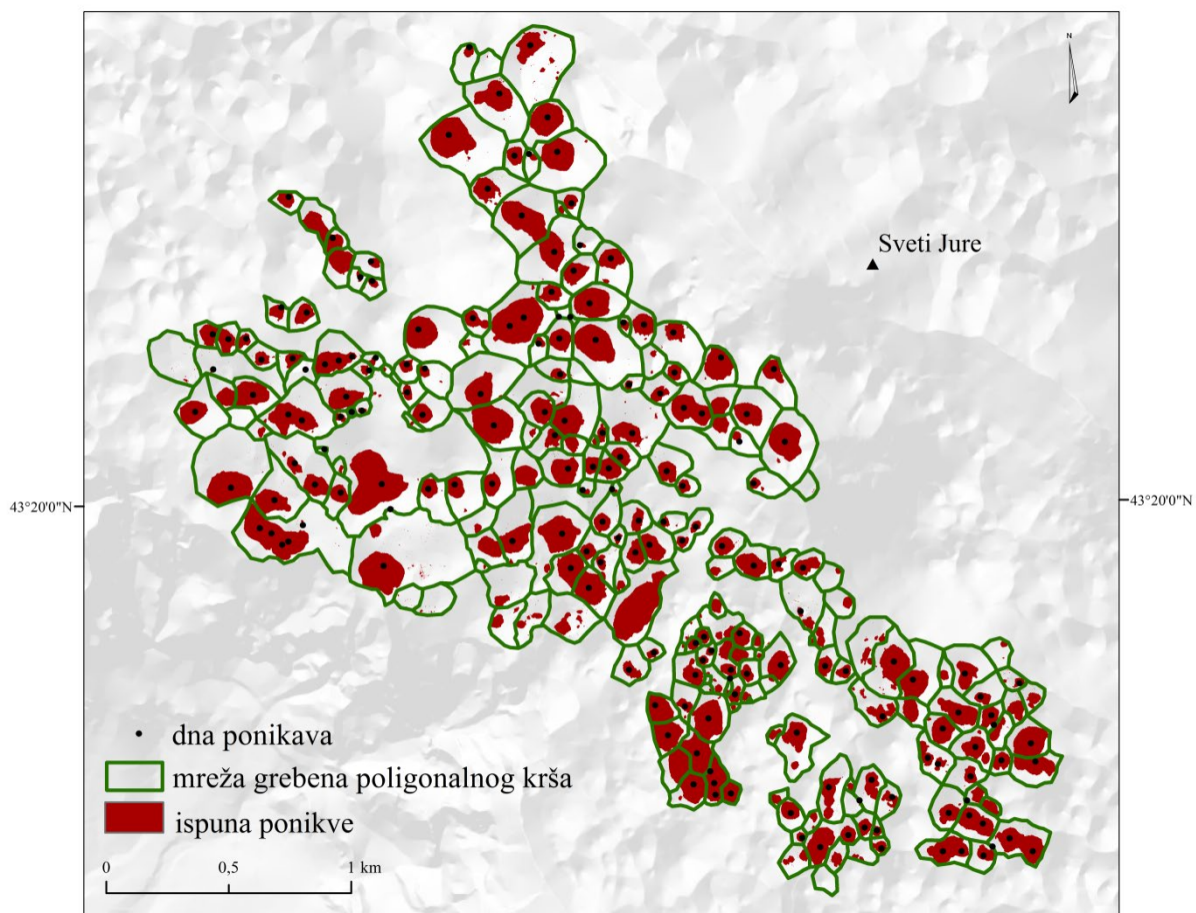
Na odabranom dijelu područja vršne zaravni Biokova, analizom i vektorizacijom rubova grebena koji okružuju ponikve dobiveno je 235 poligona u kojima svaki brid poligona predstavlja greben odnosno granicu između dvije ili više susjednih ponikava, dok se unutar poligona nalazi zabilježeno dno ponikve ili više njih (ovisno o detaljnosti rezultata prije vektorizacije) (Sl. 33.). Drugim riječima, svaki poligon predstavlja sljevno područje jedne ponikve, odnosno jednu ponikvu. Mreža poligona se sastoji od uglavnom nepravilnih

mnogokuta. Površina poligona iznosi 4,1 km² s najmanjim poligonom od 0,001 km² i najvećim od 0,22 km², a prosječna površina poligona iznosi 0,017 km², odnosno 17 714 m².



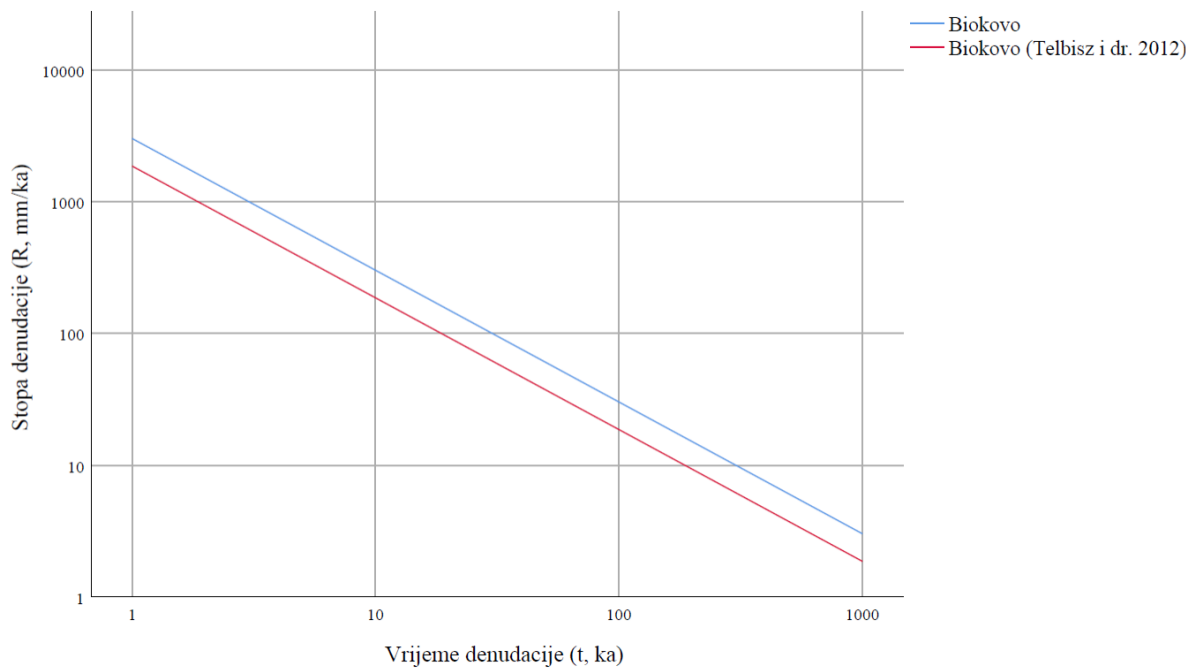
Slika 33. Granice ponikava definirane obrubom grebena

Analizom reljefa, dobivene su ispune u terenu koje predstavljaju zatvorene depresije u reljefu te se ujedno u većini slučajeva poklapaju s obrubom krajnje zatvorene izohipse ekvidistance 10 m (Sl. 34.). Područja ispunjena ne zauzimaju cijelo područje poligona, odnosno ne dosežu do vršnih grebena, tako da zauzimaju površinu od 1,17 km², odnosno sa srednjom vrijednosti od 0,00041 km², odnosno 423 m². Volumeni ispune variraju od 0,000732 m³ do 61 5949 m³ dok je ukupni volumen ispuna ponikava 12 392 392 m³, a prosječni volumen iznosi 4 499 m³. Približne dubine ispune dobivene dijeljenjem volumena i površine po formuli $d = \frac{2V}{A}$ koju navode Telbisz i dr. (2009) za izračunavanje volumena ponikve pretpostavljajući da ona nije cilindričnog oblika, već stožastog, iznose u prosjeku 1,1 m s najvećom dubinom od 41,5 m, a ukupne dubine svih ponikava iznose 3299 m.



Slika 34. Granice ponikava definirane obrubom grebena i ispunama ponikava

Apsolutne dubine ponikava, granica definiranih sljevnim područjem, odnosno mjerući od najvišeg vrha grebena do dna ponikve, odnosno najniže točke ponikve, u prosjeku iznose 60 m s najvećom dubinom od 186 m, a najmanjom od 8 m. Pomoću dubine i površine ponikava, dobiva se ukupni volumen ponikava pomoću formule $V = \frac{A \cdot D}{2}$ te iznosi 182 944 094,6 m³, a srednja vrijednost volumena je 798 882,5 m³. Uzimajući u obzir površinu istraživanog područja i ukupnog volumena ispuna ponikava, izračunata je denudacija po formuli $D = \frac{V}{A} = \frac{12,392,392 \text{ m}^3}{4,100,000 \text{ m}^2}$ te iznosi 3022 mm. Pomoću izračunate denudacije, izračunata je stopa denudacije po formuli $R = \frac{D}{t}$ koja se može izraziti kao inverzna funkcija vremena denudacije (Sl. 35.). Za vrijeme denudacije određen je period od milijun godina kako bi se rezultati usporedili s rezultatima koje su dobili Telbisz i dr. (2009). Analizom vertikalnog omjera ponikava, odnosno omjera između horizontalne duljine i dubine ponikve, dobija se rezultat od 3,8.



Slika 35. Stopa denudacije u odnosu na vrijeme trajanja denudacije

Za usporedbu odabrane su dvije ponikve, jedna (*a*) koja se nalazi u istraživanom području neposredno uz vrh Sv. Jure, a druga (*b*) 4,1 km južnije te su detaljnije analizirane, uključujući i nagib njihovih padina (Sl. 36.).

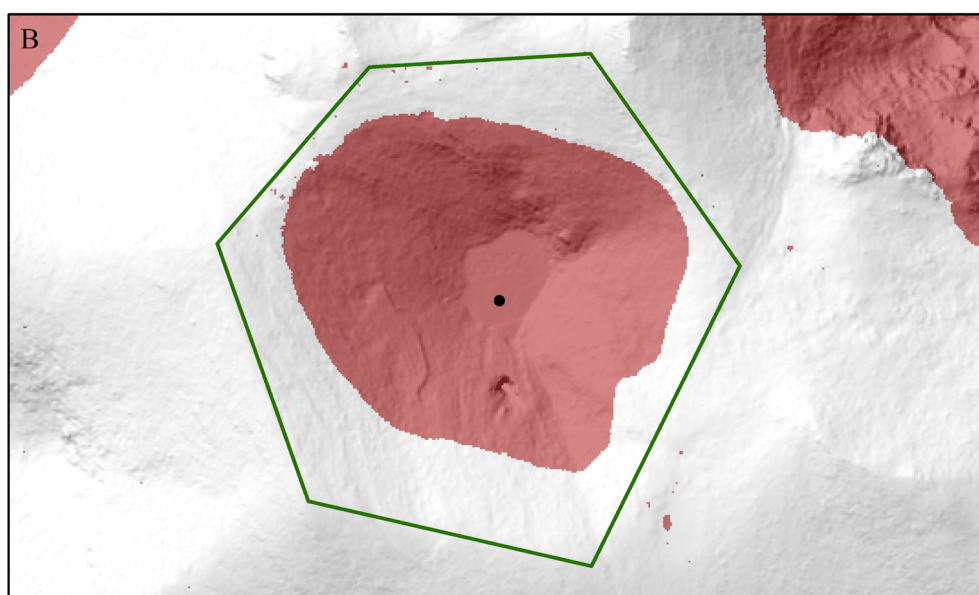
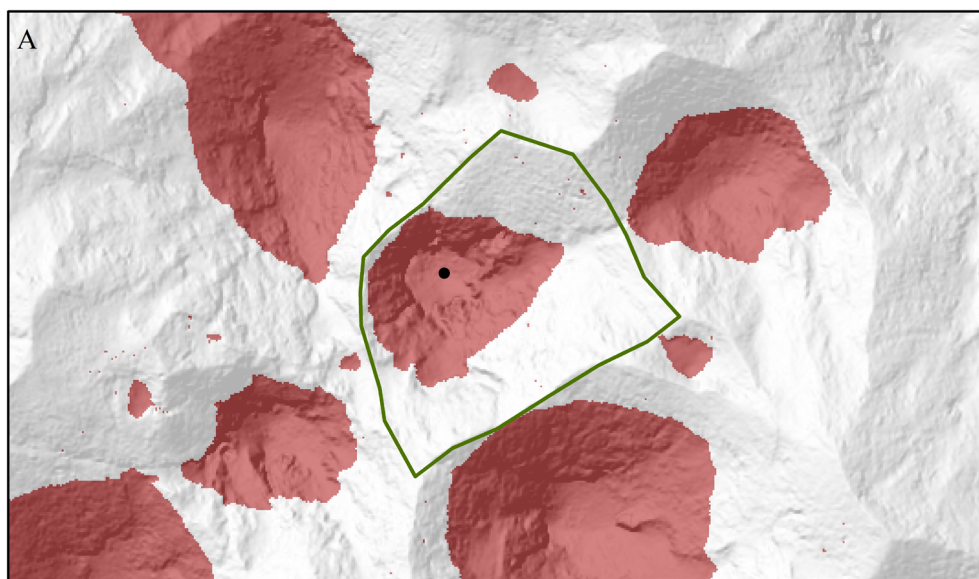
Ponikva *a* sa svojim grebenom prekriva površinu od 0,018 km², odnosno 18 013 m² (Tab. 9.). Dubina ponikve, od ruba grebena do dna iznosi 107 m. Nadmorska visina grebena je približno 1535 m, a nadmorska visina dna ponikve je 1428 m. Dovodeći u odnos površinu poligona i njegovu dubinu, dobivamo približan volumen ponikve od grebena do njenog dna koji iznosi 963 695 m³. Dubina ispune ponikve koja se poklapa s krajnje zatvorenom izohipsom ekvidistance 10 m, iznosi 18 m, volumena od 120 721 m³, a površine 6 613 m². Nagib padina ponikve se kreće od 0,8° do 87°, a srednja vrijednost nagiba padina ponikve iznosi 42°. Ponikva je ovalnog oblika, a linijom pružanja SI-JZ, a broj kutova grebena dobivenih analizom DEM-a upućuje da se radi o nepravilnom peterokutu (Sl. 36.). Vertikalni omjer ponikve iznosi 1,9.

Ponikva *b* sa svojim grebenom prekriva površinu od 0,05 km², odnosno 55 412 m² (Tab. 9.). Dubina ponikve od ruba grebena do njenog dna iznosi 45,8 m. Nadmorska visina grebena iznosi približno 1393,6 m, a dna ponikve 1347,8 m. Dobiveni približni volumen ponikve od grebena do njenog dna iznosi 1 274 476 m³. Dubina ispune ponikve koja se poklapa s krajnje zatvorenom izohipsom ekvidistance 10 m, iznosi 11 m, volumena od 349 770 m³, a površine

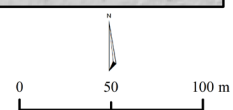
31 900 m². Nagib padina ponikve se kreće od 0,1° do 31°, a srednja vrijednost nagiba padine je 15°. Greben oko ponikve ima gotovo pravilan oblik šesterokuta (Sl. 36.). Vertikalni omjer ponikve iznosi 6,5.

Tablica 9. Morfometrija ponikava *a* i *b*

	Površina poligona (m ²)	Površina ispune (m ²)	Dubina poligona (m)	Dubina ispune (m)	Volumen poligona (m ³)	Volumen ispune (m ³)	Prosječan nagib padine (°)	Vertikalni omjer ponikve (duljina / dubina)
Ponikva <i>a</i>	18 031	6 613	107	18	963 695	120 721	42	1,9
Ponikva <i>b</i>	55 412	31 900	46	11	1 274 476	349 770	15	6,5



ispuna ponikve ● dno ponikve
 obrub grebena



Slika 36. Definirane granice ponikve *a* (gore) i definirane granice ponikve *b* (dolje)

6 Rasprava

Analiza prostorne distribucije i gustoće ponikava na području Parka prirode Biokovo provedena je kroz nekoliko različitih metoda kako bi se bolje razumjeli čimbenici koji utječu na njihovu pojavu. Na području Parka utvrđeno je 4200 ponikava što s površinom od 193,7 km² čini gustoću od 21,7 pon/km², a samo na dijelu područja na kojem su razvijene ponikve, površine 156,48 km², gustoća ponikava iznosi 26,8 pon/km². Uspoređujući s prethodnim istraživanjima ovog područja, Bočić i Pahernik (2011) su na području parka zabilježili 3606 ponikava što daje gustoću od 18,4 pon/km². Na području južnog Biokova površine 45 km², Matić i Bočić (2011) bilježe 2366 ponikava s gustoćom od 52,6 pon/km². Telbisz i dr. (2009) na užem području vršne biokovske zaravni odabrane površine od 3 km² bilježe 118 ponikava što daje gustoću od 44 pon/km². Nadalje, Bočić (2020) na području Oštarije-Tounj bilježi gustoću od 42,7 pon/km², a Faivre (1992) na području Velebita i Senjskog bila bilježi gustoću od 19 pon/km². Jednostavnom kernel metodom dobivena je gustoća ponikava raspona od 0 do 160 pon/km². Gotovo 60% površine zauzima područje gustoće od 1 do 40 pon/km². Najveće zabilježene gustoće iznad 100 pon/km², zauzimaju samo 1% ukupne površine te su lokalizirane na području jugoistočnog dijela parka uz granicu što se slaže s podacima Matić i Bočića (2011) koji analiziraju gustoću ponikava II dijela Biokova. Dovodeći u vezu njihove podatke s podacima ovog istraživanja, čak 56% ponikava cijelog područja parka, zabilježenih ovim istraživanjem se nalazi na južnoistočnom dijelu koje zauzima samo 23% površine parka što rezultira visokom gustoćom ponikava II dijela Biokova. Prostorni raspored ukazuje na linearno pružanje ponikava orijentirano pravcem jugoistok – sjeverozapad što je u skladu s dinarskim pravcem pružanja. Uspoređujući gustoću ponikava sa spomenutim istraživanjima, možemo zaključiti da je prostor Biokova karakteriziran srednjom gustoćom ponikava što ukazuje na vrlo značajnu prisutnost ponikava, iako ne u najvećoj mogućoj gustoći.

Rezultati istraživanja pokazali su značajnu povezanost, a tako i varijacije u gustoći ponikava među različitim morfometrijskim parametrima. Provedena je analiza Pearsonove korelacije gustoće ponikava i morfometrijskih parametara s dva različita pristupa kako bi se bolje razumjeli čimbenici koji utječu na njihovu pojavu, odnosno korištene su dvije prostorne rezolucije, tj. veličine područja, lokalna koja obuhvaća područje 250 m od ponikava i šira skala koja pokriva cijelo područje parka, podjeljena na prostornu mrežu kvadrata veličine 100 m. Ponikve su zastupljene u velikom broju i visokom gustoćom na visinama između 800 i 1400 m. Promatrajući hipsometrijske razrede, najveći broj ponikava se javlja na visinama od 1200 do 1400 metara što je ujedno i razred s najvećom gustoćom od 30,63 pon/km². Mogući

razlog većoj koncentraciji ponikava na tim visinama je klimatski element koji je ključan u formiranju reljefa Biokova. Količina oborina, niže temperature i manja evaporacija obilježavaju zaravan Biokova, a i zadržavanje snijega koji bude i nekoliko metara visine, zadržava se do svibnja te utječe na intenzitet korozije (Dragušica i Ozimec, 2008). Također, na tim se visinama prostire biokovska zaravan, blagih padina koje su pogodne razvijanju ponikava zbog manjeg površinskog otjecanja i veće akumulacije, a time i infiltracije vode u podzemlje (Faivre, 1992). Jako mala gustoća je zabilježena na visinama 400 – 600 m. To se može objasniti činjenicom da se na visinama od 400 – 600 m, duž sjeveroistočne granice parka nalaze padine nagiba od 12° - 32° koje su manje pogodne za razvoj ponikava jer kao takve imaju veće površinsko otjecanje i smanjenje djelovanja podzemne korozije. Gustoća kao i broj ponikava uvelike padaju na visinama većim od 1400 m što se također može pripisati strmim padinama oko samog vrha Biokova. Slične vrijednosti distribucije gustoće ponikava po hipsometrijskim razredima navode Marković i dr. (2016) na području JI Velebita gdje je najveća gustoća zabilježena na visinama od 1000 – 1200 m, a na visinama većim od 1200 m gustoća pada.

Korelacija između gustoće ponikava i nadmorske visine daje različite trendove kada se analiziraju podaci s dvije različite prostorne rezolucije. Korelacija gustoće i nadmorske visine, koristeći mrežu kvadrata veličine 100 m koja pokriva cijelo područje istraživanja, iznosi 0,232 s *p*-vrijednosti manjom od 0.001. Korelacija je pozitivna i statistički značajna što znači da se, gledajući cijelo područje istraživanja, ponikve pojavljuju na većim visinama što su razlog vjerojatno spomenuti klimatski uvjeti. Scatter plot prikazuje pozitivan trend između gustoće ponikava i nadmorske visine, a R^2 vrijednost da nadmorska visina objašnjava samo mali dio, tek 5% varijabilnosti u gustoći ponikava što nije značajan rezultat. Nasuprot tome, korelacija između gustoće i nadmorske visine koristeći buffer zone od 250 metara oko svake ponikve, iznosi -0,228 s *p*-vrijednosti manjom od 0.001 što ukazuje na statistički značajnu ali negativnu povezanost. To znači da, unutar lokalnog okruženja oko ponikava, povećanje nadmorske visine dovodi do smanjenja njihove gustoće. Ovaj rezultat može biti povezan s mikrolokalnim uvjetima, gdje niže nadmorske visine nude pogodnije klimatske uvjete za stvaranje ponikava, kao što su manji nagibi padina jer su visine iznad biokovske zaravni i strmije, kako je i navedeno u rezultatima.

Podaci gustoće ponikava po razredima nagiba terena ukazuju na značajnu povezanosti. Padine nagiba 0° - 2° imaju najveću gustoću ponikava, čak 336,45 pon/km². Slijedi razred blagih nagiba 2° - 5° s gustoćom od 152 pon/km², a nadalje gledano, porastom nagiba padine,

gustoća ponikava pada, zbog manjeg površinskog otjecanja i smanjenog djelovanja korozije koja je ključna za razvoj ponikava. Korelacija između gustoće ponikava i nagiba padine pokazuje male razlike između korištenja manje i veće prostorne rezolucije u analizama. Na lokalnoj skali, korištenjem *buffer* zona, korelacija je statistički značajna, negativna i iznosi -0.373 s *p*-vrijednošću od 0,000 što ukazuje na to da se ponikve češće pojavljuju na blagim nagibima. Kao što je spomenuto, blagi nagibi omogućuju bolje zadržavanje vode, manje površinsko otjecanje i veću infiltraciju. Na većoj prostornoj skali, korelacija između gustoće ponikava i nagiba padine ostaje statistički značajna i negativna i iznosi -0.391 ali je nešto izraženija. R^2 vrijednost objašnjava 15% varijabilnosti u gustoći ponikava što znači da se 15% promjena u gustoći ponikava može objasniti promjenama u nagibu padine. Ovaj rezultat potvrđuje da su ponikve na području Biokova općenito povezane s blažim nagibima padina što je u skladu s prethodnim istraživanjima (Marković, 2016; Pahernik, 2012; Faivre 1992)

Ekspozicija padine pokazuje vrlo slabu korelaciju s gustoćom ponikava na obje skale. Na lokalnoj skali korelacija je pozitivna i nije statistički značajna, a iznosi 0.019, dok je na regionalnoj skali korelacija negativna, ali također nije statistički značajna. R^2 koeficijent je približan nuli što znači da model ne objašnjava varijabilnost u gustoći ponikava s obzirom na orijentaciju padina. Ovi rezultati upućuju na to da orijentacija padine nema značajan utjecaj na pojavu ponikava na području Biokova. Naime, najveća gustoća ponikava se javlja na JI i SZ padinama što se poklapa s dinarskim pravcem pružanja. Nasuprot tome, najmanja gustoća se nalazi na SI i JZ padinama. Rezultati se razlikuju od podataka koje je dobio Pahernik (2012) koji na regionalnoj razini bilježe pojačanu pojavu ponikava na SI i JZ padinama.

Distribucija vrijednosti vertikalne raščlanjenosti ukazuje da se najveća gustoća ponikava javlja u razredu manjem od 100 m/km^2 , a povećanjem raščlanjenosti gustoća pada. Prema Matić i Mijić (2018), maksimum vertikalne raščlanjenosti upućuje na recentnu tektonsku aktivnost te se podudara sa zonom reversnih rasjeda. Rezultati vertikalne raščlanjenosti prikazuju značajnu negativnu korelaciju s gustoćom ponikava na obje skale analize. Analizom *buffer* zona korelacija iznosi -0.501, dok gledajući šire područje iznosi -0.579. R^2 koeficijent iznosi 0,336 što znači da je objašnjeno 33% varijabilnosti u gustoći ponikava na temelju vertikalne raščlanjenosti. Ove rezultate potvrđuju i prethodna istraživanja (Faivre, 1992; Pahernik, 2012) prema kojima je pojava ponikava veća na manje raščlanjenim područjima. To se objašnjava činjenicom da manje raščlanjena područja nemaju velike varijacije visine, odnosno područje je više zaravnjeno te su padine nižih nagiba, a kao takve su povoljnije za razvoj ponikava.

Pregledom litoloških jedinica utvrđeno je da je najveći intezitet pojave ponikava na smeđem tlu kvartara s gustoćom od 80 pon/km² i na smeđim muljnim vapnencima donje krede s gustoćom od 34 pon/km². Smeđe tlo se pojavljuje na II parka sa svega 1,4% ukupne površine i nalazi se uz tanjeslojne vapnence donje krede na kojima je gustoća ponikava vrlo visoka s 31 pon/km² što vjerojatno pridonosi visokoj gustoći ponikava na smeđem tlu. Sipari, dalmatinski fliš i glaciofluvijalne breče nemaju ni jednu zabilježenu ponikvu. Siparišne breče, foraminiferski vapnenci i glacijalne naslage imaju tek nekoliko zabilježenih ponikava, a to proizlazi iz činjenice da su spomenute kvartarne naslage loše sortirane, nisu građene od dolomita i kalcita kao što su dolomiti i vapnenci te stoga nemaju određeni stupanj topivosti koji je potreban za korozijsko otapanje stijena. S druge strane, foraminiferski vapnenci iako su po sastavu karbonati, vjerojatno imaju nisku sekundarnu poroznost i propusnost što ograničava protok vode, a time i topivost stijena. Vapnenci i dolomiti donje krede imaju najveću gustoću ponikava, a potom slijede vapnenci i dolomiti gornje jure, kako se navodi i u drugim istraživanjima (Pahernik, 2012; Bočić 2009). Na čistim vapnencima se nalazi 74% ukupnog broja ponikava. Slijede vapnenci i dolomiti s 22% ukupnog broja ponikava, a ponikve razvijene na dolomitima čine tek 1% udjela svih ponikava. Zanimljivo je spomenuti da jedina jedinica građena od čistih dolomita, formacija Sis donje krede, površine samo 1,4 km² sa ukupno 46 ponikava daje gustoću od 32 pon/km². U spomenutim istraživanjima (Pahernik, 2012; Bočić, 2009), gustoća ponikava na dolomitima je bila najniža.

Karta rasjeda i ponikava, kao i karta gustoće ponikava unutar buffer zona svakog rasjeda ukazuju na postojanje veze između pojave ponikava i pružanja rasjeda, posebice zbog manjka pojave ponikava na SZ dijelu parka gdje su rasjedi gusto raspoređeni. Zbog toga se pristupilo analizi korelacije gustoće rasjeda i gustoće ponikava, a rezultati ukazuju na slabu negativnu, ali statistički značajnu korelaciju od -0,117 što znači da se povećanjem gustoće rasjeda, smanjuje gustoća ponikava. Razlog tomu može biti zdrobljeni materijal na sjecištima većeg broja rasjeda čime se sprječava infiltracija vode u podzemlje što je ključno za otapanje karbonatnih stijena, a samim time i okršavanje. Prema tome, analizirana je i korelacija gustoće ponikava i njihove udaljenosti od rasjeda što daje rezultat od 0,126, a p-vrijednost od 0,000. To ukazuje da postoji pozitivna i statistički značajna ali slaba korelacija između udaljenosti ponikava od rasjeda i same gustoće ponikava. Drugim riječima, kako se udaljenost od rasjeda povećava, gustoća ponikava također blago raste, ali veza nije jaka. Može se sa sigurnošću zaključiti da postoji značajan utjecaj tektonike i pojave ponikava. Slične zaključke navode Pahernik i Faivre (2007), Bočić (2009) te Bogonar i dr. (2012), da s povećanjem udaljenosti od rasjeda, gustoća ponikava raste. U buffer zonama 250 m oko svakog rasjeda

izračunata je gustoća ponikava kojih je ukupno 4002 što je 95% ukupnog broja ponikava. Rasjedi koji u svojoj okolini imaju najveću gustoću ponikava nalaze se na centralnom i JI djelu Biokova te jedan manji rasjed na krajnjem SI uz granicu parka. Izdvojeno je 20 rasjeda čije okolne zone imaju najveću gustoću, veću od 40 pon/km². Od toga, 13 rasjeda su reverzni rasjedi i imaju dinarski pravac pružanja SSZ – JJI i time spadaju u najstarije rasjede Biokova (Benček, 2008), tako da se i prema Paherniku (2000) može zaključiti da je gustoća ponikava veća u zonama koje su povezane sa starijim tektonskim strukturama te su najčešće dinarskog pravca pružanja. Bognar i dr. (2012) navode da ponikve blizu rasjeda pokazuju grupiranu distribuciju. To se može potvrditi žarištem vrlo visoke gustoće ponikava na JI parka, gdje gusto grupirane ponikve prate reverzni rasjed pravca pružanja JI – SZ koji se sijeće s rasjedom nepoznatog kretanja krila pravca pružanja SI – JZ.

Utvrđena je značajna povezanost gustoće ponikava s morfometrijskim parametarima, a najveću povezanost s gustoćom i pojavom ponikava pokazuje vertikalna raščlanjenost reljefa. Pristup analizi korelacije morfometrijskih čimbenika i gustoće ponikava objašnjenih u ovom radu ima neke nedostatke, kao što je uključivanje samih ponikava u analizama nagiba padine, vertikalne raščlanjenosti i orijentacije padine. Svaka ponikva ima svoju morfometriju, kao što je dubina i nagib padine te to pri analizi može utjecati na izlazne rezultate.

Unatoč nedoumicama zbog ograničene metodologije, rezultati se u velikoj mjeri podudaraju s prethodnim istraživanjima te se može zaključiti da su dobiveni rezultati vjerodostojni i točni te u skladu sa zakonitostima pojave ponikava dinarskog krša.

Analiza definiranja granica i morfometrije ponikava dijela vršne zaravni Biokova ukazuje da se mreža dobivenih poligona sastoji od uglavnom nepravilnih mnogokuta. Prema Williamsu (1972) poligoni ponikava su uglavnom peterokuti. Analiza dvije odabrane ponikve pokazuje da jedan greben ponikve tvori peterokut, dok je druga ponikva pravilni šesterokut. Doduše, ta ponikva je odabrana za morfometrijsku analizu baš zbog svog pravilnog i upečatljivog oblika poligona. Ukupna površina poligona iznosi 4,1 km², a prosječna površina poligona iznosi 0,017 km², odnosno 17 714 m². Gotovo jednaka prosječna veličina poligona se nalazi na kršu Waitomo regije na Novom Zelandu koja iznosi 0,018 km² dok se puno veći poligoni javljaju u regiji Guilin u Kini gdje poligoni imaju prosječnu površinu od 0,51 km² (Ford i Williams, 2007). Analizom ispune ponikava pomoću alata *Fill* što je drugi način definiranja granice ponikava, dobivena je ukupna površina ispuna od 1,17 km² što je tri puta manje nego površina poligona definirana granicama vršnih grebena. Volumeni ispune variraju od 0,000732 m³ do 61 5949 m³ dok je ukupni volumen ispuna ponikava 12 392 392 m³, a prosječni volumen iznosi 4 499 m³. Telbisz i dr. (2009) na području vršne zaravni Biokova,

na manjoj površini istraživanja bilježe ukupni volumen ispune ponikava od 5 630 000 m³. Dubine ispuna iznose u prosjeku 1,1 m s najvećom dubinom od 41,5 m, a ukupne dubine svih ponikava iznose 3299 m što je slično s rezultatima Tebisza i dr. (2009) koji navode najveću dubinu od 46 m.

Apsolutne dubine ponikava, granica definiranih sljevnim područjem, odnosno mjerući od najvišeg vrha grebena do dna ponikve u prosjeku iznose 60 m s najvećom dubinom od 186 m, a najmanjom od 8 m. Prema Telbiszu i dr. (2009), najdublja ponikva iznosi 276 m. Ukupni volumen ponikava, izmjeren od grebena do dna ponikve iznosi 182 944 094,6 m³, a srednja vrijednost volumena je 798 882,5 m³. Denudacija iznosi 3022 mm, dok je u Telbiszovom radu (2009) izračunata denudacija od 1866 mm. Inverzna funkcija vremena denudacije je uspoređena s rezultatima stope denudacije prema Teblisz i dr. (2009). Grafikon pokazuje da stopa denudacije opada s vremenom, a vrijednosti su izražene u milimetrima po tisuću godina. Oba rezultata prikazuju opadanje s vremenom, no količina denudacije je veća nego količina denudacije izračunata prema Telbisz i dr. (2009). Srednja vrijednost vertikalnog omjera ponikava iznosi 3,8. Omjer ovisi o horizontalnoj duljini ponikve i njenoj dubini, tako da viši omjer znači da je ponikva plitka, dok niži omjer znači da je ponikva duboka. Prema Telbisz i dr. (2009) srednja vrijednost omjera dobivena za dio Biokova je 6,6, a na području Mađarske u regiji Aggtelek srednja vrijednost je 16,3 što ukazuje na to da su ponikve na Biokovu dublje nego na kršu Aggteleka.

Usporedba dviju odabranih ponikava ukazuje na razliku između omjera dubina, volumena i površine. Ponikva *a* se nalazi neposredno uz vrh Sv. Jure, gdje su zabilježene najdublje ponikve Biokova (Dragušica i Ozimec, 2008), a ponikva *b* se nalazi 4,3 km južnije. Ponikva *a* očekivano ima manju površinu poligona, ispune i volumena ali prednjači dubinom, sa 107 m, dok je ponikva *b* duboka 46 m. To potvrđuje i vertikalni omjer ponikve koji iznosi 6,5, a za ponikvu *a* iznosi 1,9 što znači da je ponikva *a* uža i dublja dok je ponikva *b* plića, ali veće horizontalne površine. Veću dubinu ponikve *a* objašnjava i visoki nagib padine koji doseže maksimum od 86°, a prosječni nagib padina unutar ponikve je 42° dok je prosječan nagib ponikve *b* 15°.

Telbisz i dr. (2009) navode da su mogući preduvjeti za nastanak poligonalnoga krša na Biokovu velika nadmorska visina krške zaravni, intenzivno tektonsko izdizanje, velika godišnja količina padalina te vegetacija koncentrirana u dubljim dijelovima ponikava što povećava koncentraciju CO₂ te se tako pospješuje proces urušavanja.

7 Zaključak

Biokovo koje je dio vanjskih Dinarida, ističe se mnoštvom krških fenomena za što je zaslužna karbonatna podloga, geografski položaj i odgovarajuća klima. U Parku prirode Biokovo površine od 193,5 km² utvrđeno je 4200 ponikava koje čine prostornu gustoću od 21,7 pon/km². Morfometrijski parametri uvelike utječu na prostornu distribuciju i gustoću ponikava, ponajviše vertikalna raščlanjenost reljefa i nagibi padina. Na visinama od 1000 – 1400 m je najveća koncentracija ponikava. Uzimajući u obzir cijelo istraživano područje, gustoća ponikava raste pri povećanju visine, dok gledajući okolno područje ponikava, pojava opada pri povećanju visine. Gustoćom ponikava prednjače nagibi padina u razredu 0° - 2° te se pri povećanju nagiba gustoća smanjuje. Najniže vrijednosti vertikalne raščlanjenosti broje najveći broj ponikava, kao i samu gustoću. Orijehtacija padine nema značajni utjecaj na pojavu i distribuciju ponikava, no najveći broj ponikava je razvijen na JI i SZ padinama. Najveći udio i najveća gustoća ponikava su razvijene na vapnencima i dolomitima gornje jure i donje krede, dok je neznatna gustoća zabilježena na kvartarnim naslagama. Gustoća ponikava se veže uglavnom uz zone najstarijih na Biokovu, reverznih rasjeda smjera pružanja JI – SZ, a općenito gledajući, na područjima veće gustoće rasjeda zabilježena je niža gustoća ponikava. Vršni dio zaravni Biokova zbog specifičnosti krškog krajolika možemo smatrati poligonalnim kršem, posebnim izgledom krajolika kojeg definiraju duboke ponikve, najčešće pošumljene, a odvajaju ih oštri uzdignuti grebeni. Korištena su dva načina definiranja granica ponikava te se za svaku dobivenu granicu, odnosno oblik i dimenziju ponikava, izračunala površina, volumen i dubina. Rezultati analize sljevnih područja ponikve ukazuju da su na vršnoj zaravni razvijene duboke ponikve s najviše zabilježenom dubinom od 186 m, a najveća dubina ponikve, granica definiranih njenom ispunom iznosi 41,5 m.

8 Literatura

1. Benček, Đ., 2008: Geologija Biokova. -U:Ozimec, R. (ur.2008): Biokovo. Graphis d.o.o. Zagreb, Javna ustanova Park Prirode Biokovo, 30-48, Zagreb
2. Bočić, N., 2009: *Geomorfološke značajke prostora Slunjske zaravni*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb, pp. 270.
3. Bočić, N., 2020: Geomorfologija krša na području Oštarije–Tounj i njezin značaj u geomorfološkoj evoluciji šireg područja. *Hrvatski geografski glasnik*, 82(2), pp.5-37
4. Bočić, N., Pahernik, M. 2011: Ponikve Parka prirode Biokovo – prostorna analiza, u: Znanstvenostručni skup „Biokovo na razmeđu milenija: razvoj parka prirode u 21. stoljeću“ Knjiga sažetaka, (ur. Protrka, K., Škrabić, H., Srzić, S.), Javna ustanova „Park prirode Biokovo“, Makarska, 68.
5. Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, vol 34., Zagreb
6. Bognar, A., Faivre, S., Buzjak, N., Pahernik, M., Bočić, N. 2012: Recent landform evolution in the Dinaric and Pannonian Region of Croatia, u: *Recent Landform Evolution*, (ur. Lóczy, D., Stankoviansky, M., Kotarba, A.), Springer, Heidelberg – London – New York
7. Bonacci, O. 1987: Karst hydrology with special reference to Dinaric karst, *Springer Verlag*, Berlin
8. Božičević, S., Benček, Đ., 1983: Tektonško-geomorfološke specifičnosti Biokova i pojave urušnih vrtača i ledenica, *Acta Biokovica*, Vol. 2, Makarska.
9. Dragušica, H. i Ozimec, R., 2008: Geografija i geomorfologija Biokova. -U:Ozimec, R. (ur.2008): Biokovo. Graphis d.o.o. Zagreb, Javna ustanova Park Prirode Biokovo, 11-29, Zagreb
10. Faivre, S. 1992: Analiza gustoće ponikava na Sjevernom Velebitu i Senjskom bilu, *Senjski zbornik*, 19, 13-24.
11. Faivre, S., Pahernik, M. 2007: Structural influences on the spatial distribution of dolines, Island of Brač, Croatia, *Zeitschrift für Geomorphologie*
12. Ford, D., Williams, P. D. 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley & Sons, West Sussex, England, pp. 562.
13. Fortis, A., 1984: Put po Dalmaciji, Globus, Zagreb, *I. izdanje 1774. Venecija*

14. Fuček, L., Korbar, T., Palenik, D., Brčić, V., Kurečić, T., Belić, N. 2022: Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:50.000 – list: Park prirode Biokovo. Hrvatski geološki institut (Zavod za geologiju), Zagreb, ISBN: 978-953-6907-78-6
15. Gams, I., 2000: Doline morphogenetic processes from global and local viewpoints, *Acta Carsologica*, 29 (2), 123-138.
16. Lozić, S., 1995: Vertikalna rasčlanjenost reljefa kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, vol. 30, Zagreb, 17 – 28.
17. Magaš, D., 2013: Geografija Hrvatske. Zadar: Odjel za geografiju Sveučilišta u Zadru, Meridijani, 2013
18. Marinčić, S., Korolija, B. I Majcen, Ž., 1976: Osnovna geološka karta 1:1 000 000, list Omiš K 33-22. Institut za geološka istraživanja Zagreb. Savezni geološki zavod, Beograd
19. Marinčić, S., Magaš, N. I Benček, Đ. 1977: Osnovna geološka karta 1:1 000 000, list Ploče K 33-35. Institut za geološka istraživanja Zagreb. Savezni geološki zavod Beograd
20. Marković, J., Bočić, N., Pahernik, M., 2016: Prostorni raspored i gustoća ponikava jugoistočnog Velebita, *Geoadria* 21, 1–28.
21. Matić, N. i Bočić, N., 2011: Određivanje geomorfoloških obilježja južnog dijela Biokova za potrebe simultanog trasiranja podzemne vode, Knjiga sažetaka, Znanstveno-stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem “Biokovo na razmeđimilenija – razvoj parka prirode u 21. stoljeću”, Makarska, Hrvatska, 69
22. Matić, N. i Mijić, D., 2018: Geomorfološka i hidrografska obilježja južnog dijela Biokova, Zbornik radova, 2018, 73-81
23. Matić, N., Maldini, K., Cuculić, V. and Frančičković-Bilinski, S., 2012: Investigations of karstic springs of the Biokovo Mt from the Dinaric karst of Croatia. *Chemie der Erde*, 72(3), pp.179-190.
24. Mihaljević, D., 1993: Geomorfološke značajke primorske padine gorskog hrpta Biokova, Ekološke monografije 4 - zbornik radova sa Kongresa održanog od 11-16. Listopada 1993. u Makarskoj, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb
25. Mikac, K., 2004: Geomorfologija predgorske stepenice Biokova između Dubaca i Makarske / Bognar, Andrija (mentor); (neposredni voditelj). Zagreb, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
26. Ozimec, R. 2022: *Vodič kroz Biokovo*. Javna ustanova "Park prirode Biokovo", Makarska
27. Pahernik, M. 2000: Prostorni raspored i gustoća ponikava SZ dijela Velike Kapele – rezultati računalne analize susjedstva, *Geoadria*, 5, 105-120.

28. Pahernik, M., 2012: Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske, Hrvatski geografski glasnik 74 (2), 5-26.
29. Raić, V., Ahac, A., Papeš, J., 1968: Osnovna geološka karta 1:1 000 000, list Imotski K 33-23. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd
30. Sauro, U. 2003: Dolines and sinkholes: Aspect of evolution and problems of classification, *Acta carsologica*, 32 (2), 41-52.
31. Telbisz, T., Dragušica, H., Nagy, B. 2009: Doline Morphometric Analysis and Karst Morphology of Biokovo Mt (Croatia) Based on Field Observations and Digital Terrain Analysis, Hrvatski geografski glasnik, 71 (2), 5-22.
32. Velić, J., Velić, I., Kljajo, D., Protrka, K., Škrabić, H. and Špoljar, Z., 2017: A geological overview of glacial accumulation and erosional occurrences on the Velebit and the Biokovo Mts., Croatia. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 72(3), pp.77-96.
33. Williams, P.W., 1972: Morphometric Analysis of Polygonal Karst in New Guinea. *Geological Society of America Bulletin*, 83, 761-796
34. Williams, P.W., 2004: Polygonal karst and palaeokarst of the King Country, North Island, New Zealand. *Zeitschrift fur Geomorphologie, Suppl.-Vol 136*, 45–67.

Izvori

1. Digitalni model reljefa (DEM), veličina jedinične ćelije 1 x 1 m, Baza prostornih podataka Geografskog odsjeka Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. (6.2.2024)
2. Digitalni model reljefa (DEM), veličina jedinične ćelije 5 x 5 m, Baza prostornih podataka Geografskog odsjeka Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. (6.2.2024)
3. Topografske karte mjerila 1:25000, *Vojnogeografski institut, Beograd*, 1977. – 1979 (6.2.2024)

9 Prilozi

Popis slika

Slika 1. Ponikva s obradivim tlom na dnu, Biokovo (foto: Mia Trojanović, 13.5.2024)	3
Slika 2. Usporedba različitih izgleda mreže poligonalnog krša, prema Williamsu (2004), preuzeto iz Ford i Williams (2007)	5
Slika 3. Poligonalni krš vršne zaravni Biokova (foto: Mia Trojanović, 13.5.2024)	6
Slika 4. Geografski položaj istraživanog područja PP Biokovo	9
Slika 5. Primorska padina Biokova (foto: Mia Trojanović, 13.5.2024).....	11
Slika 6. Geološka karta litostratigrafskih jedinica PP Biokovo (izrađeno prema podacima Fuček i dr., 2022)	13
Slika 7. Geološka karta starosti stijena PP Biokovo (izrađeno prema podacima Fuček i dr., 2022).....	13
Slika 8. Litološka karta PP Biokovo (izrađeno prema podacima Fuček i dr., 2022)	14
Slika 9. Rasjedi PP Biokovo (izrađeno prema podacima Fuček i dr., 2022)	15
Slika 10. Padaline na SI, kontinentalnoj strani Biokova (foto: Mia Trojanović, 13.5.2024)...	17
Slika 11. Izdvojeni primjeri kartiranja dna ponikava; manje ponikve prikazane signaturom (a), jednostavne ponikve (b), složene ponikve s dva ili više dna i vodom ispunjene ponikve (c) te složene ponikve s više sekundarnih ponikava (d) (Pahernik 2012)	19
Slika 12. Prostorni razmještaj ponikava PP Biokovo.....	21
Slika 13. Gustoća ponikava PP Biokovo.....	22
Slika 14. Gustoća ponikva po hipsometrijskim razredima.....	23
Slika 15. Ponikve po hipsometrijskim razredima.....	24
Slika 16. Gustoća ponikava po razredima nagiba padina.....	25
Slika 17. Ponikve po razredima nagiba padina	26
Slika 18. Gustoća ponikava po razredima orijentacije padine	27
Slika 19. Ponikve po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa	28
Slika 20. Gustoća ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa.....	29
Slika 21. Ponikve po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa	30
Slika 22. Ponikve po litostratigrafskim jedinicama	32
Slika 23. Gustoća ponikava po litološkim jedinicama	33
Slika 24. Ponikve po litološkim jedinicama.....	34
Slika 25. Gustoća ponikava po geološkim periodima	35

Slika 26. Ponikve po geološkoj starosti	36
Slika 27. Gustoća ponikava unutar <i>buffer</i> zona rasjeda	37
Slika 28. Izdvojene <i>buffer</i> zone s visokom gustoćom ponikava	38
Slika 29. Gustoća ponikava po <i>buffer</i> zonama ponikava	39
Slika 30. Izdvojene <i>buffer</i> zone s više od 40 ponikava	40
Slika 31. Dijagram gustoće ponikava i nadmorske visine (gore) i dijagram gustoće ponikava i orijentacije padine (dolje).....	41
Slika 32. Dijagram gustoće ponikava i nagiba padine (gore) i dijagram gustoće ponikava i vertikalne raščlanjenosti (dolje)	42
Slika 33. Granice ponikava definirane obrubom grebena	43
Slika 34. Granice ponikava definirane obrubom grebena i ispunama ponikava	44
Slika 35. Stopa denudacije u odnosu na vrijeme trajanja denudacije	45
Slika 36. Definirane granice ponikve <i>a</i> (gore) i definirane granice ponikve <i>b</i> (dolje)	47

Popis tablica

Tablica 1. Gustoća ponikava, površina i udio površine po razredima	20
Tablica 2. Gustoća, udio i broj ponikva po hipsometrijskim razredima	23
Tablica 3. Gustoća udio i broj ponikava po razredima nagiba padina	25
Tablica 4. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima orijentacije padine	27
Tablica 5. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa	29
Tablica 6. Gustoća, udio i broj ponikava po litostratigrafskim jedinicama	31
Tablica 7. Gustoća, udio i broj ponikava po litološkim jedinicama.....	33
Tablica 8. Gustoća, udio i broj ponikava po geološkim periodima.....	35
Tablica 9. Morfometrija ponikava <i>a</i> i <i>b</i>	46